

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

E.A.P. DE FÍSICA

**Variabilidad de las condiciones climáticas y
meteorológicas en la zona arqueológica Caral-Supe**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Jorge Llamocca Huamaní

Lima – Perú

2014

RESÚMEN

Como parte del estudio base, en el contexto del Proyecto Especial Arqueológico Caral Supe, se realizó la descripción de la variabilidad de condiciones climáticas y meteorológicas en la zona arqueológica Caral-Supe, con el objetivo de identificar patrones de circulación tipo atmosféricos a nivel local, regional y conocer los procesos físicos responsables de la variabilidad climática en esta región. Así mismo se analizaron los elementos del clima como la precipitación, humedad, viento, temperatura mínima y máxima del aire, con promedios mensuales, estacionales, anuales y multianuales, correspondientes a estaciones meteorológicas ubicadas en los alrededores del sitio arqueológico Caral y el valle de Supe, también se utilizaron los datos del ERA Interim (NCAR), correspondientes a los años 1979-2013 con una resolución de $0,75^{\circ}\text{Lat}\times\text{Lon}$. Éstos datos, para los periodos mencionados nos muestran un panorama amplio sobre la estructura del comportamiento dinámica en Caral, que se ven expuestas a cambios bruscos en los valores de los elementos del clima, principalmente en temperatura del aire debido a la influencia de los distintos patrones de circulación y a factores como la corriente de Humboldt, la cuenca amazónica, el anticiclón del pacífico sur, la alta de Bolivia y de manera significativa los eventos El Niño, que se ve reflejada en la correlación de índice con la región Niño 1+2 con un valor de 0,9 el cual representa un 90% en la influencia de condiciones de variabilidad climática y meteorológica en Caral para condiciones cálidas; el cual también se refleja en la climatología de la precipitación promediada para las estaciones de Alcantarilla, Paramonga, Camay, Santa Rosa, Andahuasi y Andajes. Esta climatología representa un comportamiento bianual, donde el primero es debido a la acumulación de precipitación por presencia del evento El Niño y el segundo por efecto de la estacionalidad. Sin embargo, la estación de Andajes representa muy bien su ciclo hidrológico que está más ligada a la acumulación de las lluvias de la cuenca amazónica. Estos sistemas de masa o centro de presión a escala regional son muy comunes en la costa central como principales moduladores del clima. Por otro lado se identifico el periodo de recurrencia de 2.5 años para el evento El Niño, aplicando la transformada rápida de Fourier a los datos diarios de temperatura de la estación Alcantarilla.

Dedico esta tesis de manera especial a mi padre Leoncio, mi madre Rosa y hermanos, quienes son mi inspiración y fortaleza. Gracias por ese apoyo, para mí significo la suficiente fuerza para continuar en los momentos más difíciles.

¡¡¡Gracias familia!!!

La vida está llena de palabras simples que con el tiempo se vuelven extraordinarios!!

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiera sido posible sin la cooperación y la confianza del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENMAHI) y a los miembros del Proyecto Especial Arqueológico Caral Supe (PEACS) – a los que me aproximé gracias a la generosidad y oportunidad de la Dra. Elizabeth Silvestre Espinoza y de los miembros del grupo multidisciplinario que iniciaron una gran labor en esta nueva investigación (SENAMHI, INGEMMET, IGP, IMARPE, UNI, UNMSM y UPCH). Durante el trabajo de campo que se realizó en Caral conté con la ayuda desinteresada de los Caralinos. Recuerdo con gratitud sus sugerencias y ánimos en el camino de la investigación sobre el tema que abordo en esta tesis.

En Lima también hubo personas que me animaron con sus consejos, reflexiones y amistad. Entre ellos, quiero agradecer a la Dra. Elizabeth S., amiga y Co-asesora de la tesis, que me mantuvo a la altura de la responsabilidad para culminar la investigación; a la Dra. Ruth Shady y Pedro Novoa del PEACS, valiosos amigos que con sus publicaciones aprendí mucho de las herramientas metodológicas de la investigación cualitativa y mantener un espíritu crítico y de compromiso social por la investigación.

Vayan también mis agradecimientos hacia mi asesor Mg. Fashe R., al profesor Pablo Lagos de Instituto Geofísico del Perú (IGP), Mg. Miguel S. Juan De Dios a Ladislao Cuellar Reyes, profesores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, quienes me apoyaron con sus estímulos y sus críticas constructivas, sugerencias y discusiones de los borradores de la tesis.

Por último, a parte de los que he mencionado, amplió mis agradecimientos a quienes se me escapan, por su apoyo en diversas formas, no solo en los estímulos para la investigación sino también por la transmisión de valor y ánimo.

ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo principal	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.2. Ubicación de la Ciudad Arqueológica de Caral	14
1.3. Vías de acceso a Caral.	14
1.3.1. Caminos por Ámbar.	14
1.3.2. Caminos por Végueta.	14
CAPITULO II: REVISIÓN LITERARIA	15
2.1. Climatología.	15
2.2. Climatología de la costa Central.	15
2.3. Meteorología costera.	16
2.4. Perfil costero de Supe.	16
2.5. Geomorfología de la zona costera de Caral.	17
2.5.1. Hidrografía de Barranca.	17
2.5.2. Cuenca hidrográfica del Pacífico-zona Barranca.	17
2.6. Evento oceanográfico de la costa de Barranca.	21
2.6.1. Corriente de Humboldt.	23
2.6.2. Evento El Niño.	24
2.6.3. Evento la Niña.	27
2.6.4. El Niño – Oscilación del Sur.	29
2.6.5. Eventos ENSO.	29
2.7. Clima.	33
2.7.1. Sistemas de vientos.	33

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	35
3.1. Método de investigación.	35
3.1.1. Recopilación de información.	35
3.1.2. Información de Campo.	36
3.2. Diseño de Investigación.	36
3.2.1. Tratamiento de datos meteorológicos.	36
3.2.2. Control de Calidad.	37
3.3. Transformada rápida de Fourier y espectro de potencia.	44
3.4. Descripción de las zonas de vida.	45
3.4.1. Distribución y diversidad de zonas de vida en Caral.	46
3.4.2. Descripción de las zonas de vida.	46
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Temperatura máxima del aire.	49
4.2. Temperatura mínima del aire.	52
4.3. Variabilidad anual de la temperatura máxima de aire.	54
4.4. Variabilidad anual de la temperatura mínima de aire.	56
4.5. Humedad Relativa.	57
4.6. Precipitación en Caral.	58
4.7. Viento sinóptico en Caral.	61
4.8. Niveles sinópticos de viento.	64
4.9. Años extremos, cálidos y fríos.	72
4.10. Índices Climáticos.	73
4.11. Relación con variables climáticas globales y otras asociadas	74
4.12. Aspectos relevantes del clima en Caral.	77
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1. Conclusiones.	82
5.2. Recomendaciones.	84
REFERENCIAS	85
LISTA DE SIGLAS	88
ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Calicatas donde se aprecia eventos aluviales con acumulación de grava aluvial, gruesa, mediana y fina, producto del Fenómeno El niño, ocurridos en la historia de Caral.	11
Figura 2.	Duna en el Centro Arqueológico de Caral.	12
Figura 3.	Área de estudio: color verde, comprende la distribución de los centros arqueológicos. Color azul, comprende la albufera de medio mundo.	13
Figura 4.	Vista panorámica de la zona árida del centro arqueológica de Caral.	15
Figura 5.	Principales zonas de afloramiento en el Perú.	23
Figura 6.	Regiones del Niño.	24
Figura 7.	Condiciones Normales del océano.	25
Figura 8.	Condiciones de la Niña.	25
Figura 9.	Condiciones El Niño.	28
Figura 10.	Series de años con presencia fuerte de ENSO.	30
Figura 11.	Eventos ENSO según Desinventar.	31
Figura 12.	Esquema del proceso de surgencia de aguas frías y los vientos costeros	34
Figura 13.	Influencia de ráfagas de viento en la estructura vertical de los arboles.	36
Figura 14.	Datos diarios de la temperatura máxima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Alcantarilla SENAMHI.	40
Figura 15.	Datos diarios de la temperatura mínima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Alcantarilla SENAMHI.	40
Figura 16.	Datos diarios de la temperatura máxima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Camay SENAMHI.	40
Figura 17.	Datos diarios de la temperatura mínima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Camay SENAMHI.	43
Figura 18.	Una señal genérica se forma por una sumatoria de señales sinusoidales.	44
Figura 19.	Serie de tiempo para datos diarios de temperatura mínima del aire en las estaciones Camay.	45
Figura 20.	Espectro de potencia.	45

Figura 21.	Descripción de las zonas de vida.	48
Figura 22.	Variabilidad mensual de la temperatura máxima en la provincia de Barranca.	50
Figura 23.	Variabilidad mensual de la temperatura máxima del aire en valle de Supe. Promedios mensuales históricos de las series de temperatura mensuales (línea azul) y gráfico de cajas para cada una de los meses de las series (rectángulo define: cuartil superior, mediana (línea roja) y cuartil inferior; marcas '+' rojos son outliers y línea negra interlineada son proyecciones de los cuartiles).	51
Figura 24.	Variabilidad mensual de la temperatura del aire mínima.	52
Figura 25.	Variabilidad mensual de la temperatura del aire mínima en valle de Supe. Promedios mensuales históricos de las series de temperatura mensuales (línea azul) y gráfico de cajas para cada una de los meses de las series (rectángulo define: cuartil superior, mediana (línea roja) y cuartil inferior; marcas '+' rojos son outliers y línea negra interlineada son proyecciones de los cuartiles).	53
Figura 26.	Cobertura nubosa para la zona de la provincia de Barranca – agosto Fuente: <i>SENAMHI-2013</i> .	54
Figura 27.	Variabilidad interanual de la temperatura del aire máxima. Estaciones de Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa respectivamente.	55
Figura 28.	Variabilidad interanual de la temperatura del aire mínima. Estaciones de Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa respectivamente.	58
Figura 29.	Diagrama de cajas para la precipitación promedio mensual.	59
Figura 30.	Histograma para la precipitación mensual.	60
Figura 31.	Precipitación promedio mensual.	60
Figura 32.	Datos de Era Interim: (A) Viento costero de verano, (B) Viento costero de invierno.	62
Figura 33.	Datos de Era Interim: (A) Comportamiento del anticiclón del pacifico sur para verano con la influencia del monzón amazónico (flecha amarilla) y (B) para invierno. Área coloreada mayor a 6 m/s.	63
Figura 34.	Datos de Era Interim: (A) Climatología de la alta de Bolivia para verano y (B) para invierno.	64
Figura 35.	Rosa de viento (m/s) estacional para las horas sinópticas en la estación de Camay.	66
Figura 36.	Rosa de viento (m/s) estacional para las horas sinópticas en la estación de Alcantarilla.	67

Figura 37.	Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Paramonga.	68
Figura 38.	Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Caral 2007.	69
Figura 39.	Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Caral 2008.	70
Figura 40.	Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Áspero/Supe 2010-2011.	71
Figura 41.	Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Vichama 2011-verano.	71
Figura 42.	Patrón de circulación local en Caral. Viento en m/s.	72
Figura 43.	Tendencias de la temperatura del aire: (A) Temperatura máxima, (B) Temperatura mínima.	74
Figura 44.	Espectro de potencia de los valores promedios diarios de la temperatura en la estación Alcantarilla para el periodo 1967 2009.	76
Figura 45.	Interacción Océano - Atmosfera y circulación local: chorro de bajo nivel y brisas marinas – terrestre.	78
Figura 46.	Descripción de la interacción Océano/Atmosfera para el centro arqueológico Caral/Supe para la temporada de periodo cálido.	79
Figura 47.	Descripción de la interacción Océano/Atmosfera para el centro arqueológico Caral/Supe para la temporada de periodo frío.	80
Figura 48.	Descripción Esquemática a un cambio en los factores climáticos y la interacción Océano/Atmosfera para el periodo Holoceno en el Centro Arqueológico Caral/Supe.	81

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1.	Años cálidos.	30
Cuadro 2.	Eventos caracterizables ENSO por regiones	32
Cuadro 3.	Eventos ENSO en la Costa Central.	33
Cuadro 4.	Ubicación de las estaciones meteorológicas. T: temperatura, PP: precipitación, HR: humedad relativa y V: viento.	37
Cuadro 5.	Humedad relativa media mensual: estación Camay.	57
Cuadro 6.	Humedad relativa media mensual: estación Alcantarilla.	58
Cuadro 7.	Humedad relativa media mensual: estación Paramonga.	58
Cuadro 8.	Años más cálidos y fríos en Caral.	73
Cuadro 9.	Coeficiente de correlación de los índices globales y la temperatura máxima del aire.	75
Cuadro 10.	Coeficiente de correlación de los índices globales y la temperatura mínima del aire.	75
Cuadro 11.	Resultados de la aplicación de la transformada rápida de Fourier.	77

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El centro arqueológico de Caral, está ubicado en la margen izquierda del río Supe, a una altura de 350 msnm, en la costa central del Perú, en el distrito de Supe, provincia de Barranca y departamento de Lima. El centro arqueológico de Caral tiene una antigüedad de 4600 a 4100 años; el cual, lo convierte en uno de los lugares más importantes y de mayor antigüedad de América. La permanencia de los habitantes en Caral habría estado en un rango de 500 y 660 años, durante este periodo histórico de Caral surgieron varios eventos climáticos que dejaron huellas como la presencia de la duna en el sector noreste (Figura 2) y posiblemente la destrucción el Templo del Anfiteatro; sumado a esto, se mostraron calicatas de unos 10 metros de profundidad (Figura 1); en este perfil se puede observar de manera muy clara los periodos cálidos y fríos, el primero se da por un calentamiento de 1°C a 2°C por encima del valor de la temperatura superficial del mar que da lugar a altas precipitaciones en las zonas costeras y éstas al ser extremas generan aluviones.

La ciudad arqueológica de Caral es motivo de estudio en términos de cambio climático, debido a que el área es vulnerable a la presencia de eventos El Niño; precipitaciones extremas como del año 1891, donde los ríos se desbordaron y las quebradas se activaron con mayor intensidad generando desplazamientos de grandes cantidades de lodo y arena, afectando principalmente a Supe. Esta configuración revela como los riesgos constituyen una ecuación dinámica y compleja en los Fenómenos El Niño; lluvias menos prolongadas e intensas donde se acumulan grandes volúmenes de roca en descomposición, puede derivar en amenazas de mayor magnitud al determinar una mayor actividad geodinámica. A tales amenazas, se le suman las condiciones de mayor vulnerabilidad existentes. Esta vulnerabilidad, fue importante hace 4600 años, donde el lugar se volvió inhabitable ante la presencia de eventos extremos con las características mencionadas. En ese sentido conocer el comportamiento climático de Caral durante los últimos 30 años, en base a las estaciones meteorológicas y describiendo las condiciones actuales de circulaciones locales y regionales, son importantes como investigación y los resultados climáticos que son escasas en estas zonas de Caral, serán utilizados por la población, visitantes al valle de Supe y ayudaran a

mantener el asentamiento urbano con arquitectura monumental más antigua de América.

Climáticamente, la costa central del Perú es una región extremadamente árida, sin embargo, se caracteriza por ser generalmente nuboso, templado, elevada humedad atmosférica y alta variabilidad la mayor parte del año. Esta variabilidad del clima lo observamos en la temperatura superficial del mar (TSM) como principal modulador del sistema climático, anomalías asociadas con El Niño / Oscilación del Sur (ENSO) y las precipitaciones; así como otras anomalías de circulación local a nivel costero. A su vez, la variabilidad del clima local son influenciadas por los patrones de circulación atmosféricos en los océanos circundantes (Garreaud, Vuille, Clement, 2003).

Un factor clave para el progreso en la comprensión de caracterización climática en Caral, ha sido el establecimiento de programas nacionales de investigación que han estimulado tanto interés científico. Programas nacionales liderados por los organismos Nacionales tales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, Instituto Geofísico del Perú – IGP, Instituto Geológico Minero Metalúrgico - INGEMMET, laboratorios de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Universidad Nacional de Ingeniería bajo el marco del Proyecto Especial Arqueológico Caral Supe (PEACS), quienes proporcionaron recursos para los proyectos piloto que en la actualidad ven plasmada en esta tesis.



Figura 1. Cateos de 10m de profundidad donde se aprecia eventos aluviales con acumulación de grava aluvial, gruesa, mediana y fina, producto del Fenómeno El niño, ocurridos en la historia de Caral.

Fuente: Llamocca, (2012).



Figura 2. Duna en el Centro Arqueológico de Caral.

Fuente: Llamocca, (2012).

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es identificar los patrones de circulación que generan variabilidad en la costa central y describir el comportamiento climático principalmente en Caral, durante los últimos 40 años.

1.1.2 objetivos específicos

- Descripción del viento a nivel mensual mediante las salidas del modelo ERA Interim (0,75° LatxLon).
- Elaboración de tendencias climáticas.
- Correlación de datos de observación y los índices globales.
- Estandarización de la temperatura para identificar los años cálidos y fríos.
- Realizar una descripción regional, para identificar el principal modulador climático en Caral.
- Aplicación de series de transformada rápida de Fourier a la serie de temperatura e identificar las componentes principales.

1.2 Ubicación de la ciudad arqueológica de Caral

La Ciudad Sagrada de Caral cuenta con 66 hectáreas de extensión; se encuentra ubicada entre el valle del río Supe sobre una quebrada transversal

identificadas como Lomas (Carlotto, 2011). El área pertenece a la provincia de Barranca, departamento de Lima (Figura 3).

La ciudadela es una de las zonas con mayor proporción de territorio por debajo de los 500 msnm, ubicando a Caral a los 350 msnm y a 23 km del distrito de Supe. Entre las Latitudes: 11° 10' 22"S, 10° 00' 33" S, Longitudes: 78° 12' 12.08" W, 76° 33' 18.74" W. Sus Límites son:

- Norte : el Río Pativilca y el departamento de Ancash (Huarney).
- Este : departamento de Ancash (Ocos) y Huánuco.
- Sur : el Río Huaura (Huacho).
- Oeste : el Océano Pacífico.

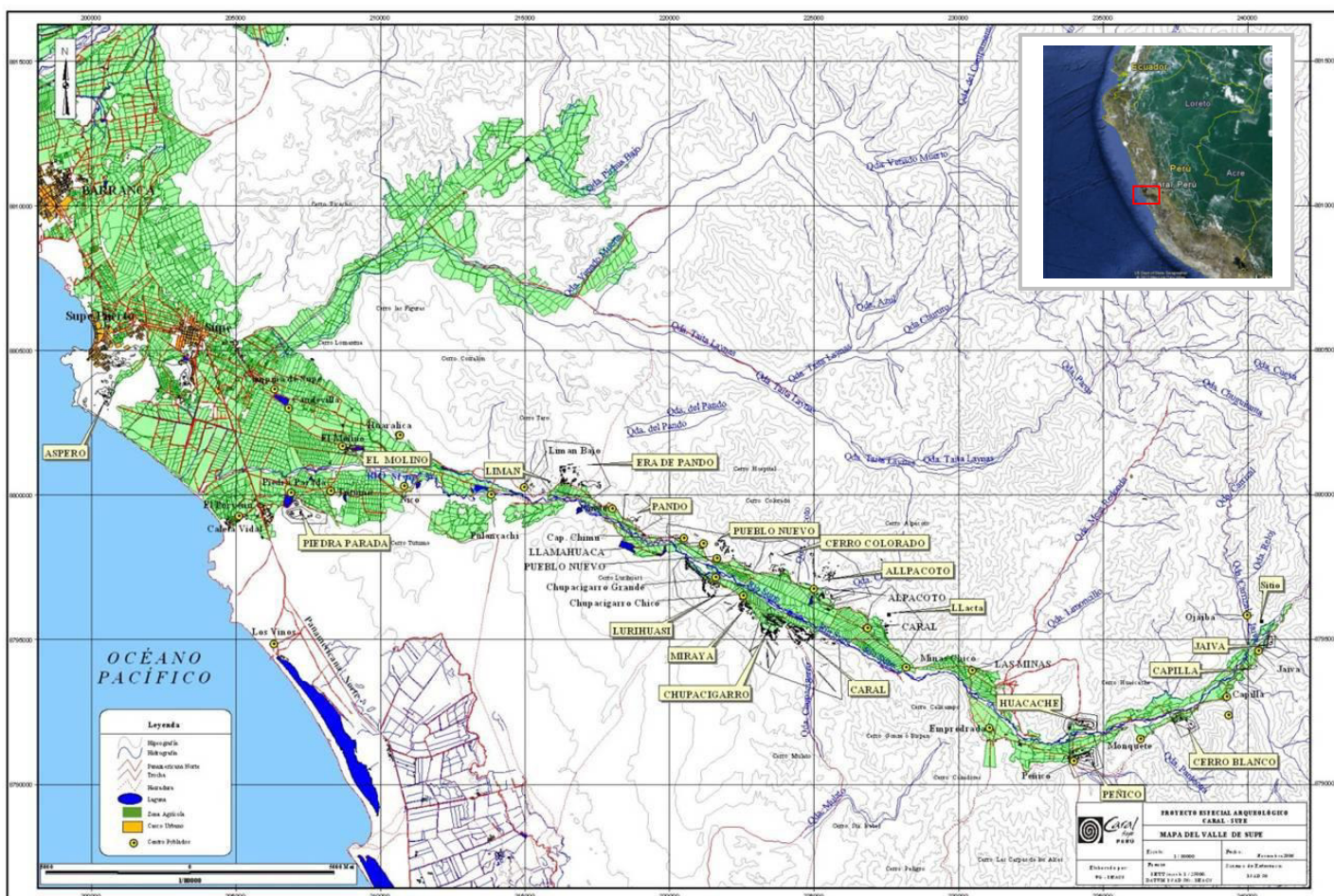


Figura 3. Área de estudio: color verde, comprende la distribución de los centros arqueológicos. Color azul, comprende la albufera de medio mundo.

Fuente: PEACS.

La costa de Barranca y Huacho posee una geografía muy particular, pues las superficies están formadas principalmente por extensas lomadas y quebradas transversales, cortadas por un conjunto de pequeños valles agrícolas principalmente el área de la albufera de Medio Mundo y el valle de Supe, en donde desemboca el río Supe.

1.3 Vías de acceso a Caral

Vía terrestre, el tiempo estimado de viaje desde Lima hacia Caral, es de 4 horas aproximadamente por la autopista de la Panamericana Norte y existen 2 caminos para llegar al centro arqueológico.

➤ **Camino por Ámbar.**

Se viaja por la Panamericana Norte hasta el kilómetro 184, un poco antes de la ciudad de Supe. Un letrero anuncia el camino hacia Ámbar, el mismo que lleva al sitio arqueológico. Luego de recorrer 23 km por esta vía, se llegará a una señal que indica el camino que cruza el río y que conduce a Caral. Esta ruta es recomendable entre los meses de abril a noviembre.

➤ **Desvío por Végueta.**

Se recorre una distancia de 24 km, ingresando a la altura del kilómetro 160 de la Panamericana Norte. Viable de diciembre a marzo, cuando crece el caudal del Río Supe.

CAPITULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Climatología

El objeto de estudio de la climatología es el clima y al definirla es la descripción en términos de valores medios y de variabilidad de la temperatura, humedad, precipitación y viento, de una localidad o región, en un período relativamente largo de tiempo, 30 años como mínimo según la Organización Mundial de Meteorología (OMM). Asimismo, el clima es el resultado de una compleja interacción entre las cinco componentes del sistema climático: la atmósfera, la biósfera, la hidrósfera, la criósfera y la superficie terrestre; las cuales mantienen una dinámica propia que va generando variaciones en diferentes escalas de tiempo, desde años, como los eventos El Niño/ La Niña, hasta miles y millones de años, como las eras glaciares, solo interrumpida eventualmente por causas naturales como las erupciones volcánicas y las variaciones en las emisiones solares, o por la actividad humana (Machare, Ortlieb, 1993).

2.2 Climatología de la Costa Central

La costa central de acuerdo a su posición geográfica le corresponde un clima tropical lluvioso (Figura 4); debido a diversas causas geográficas, meteorológicas y oceanográficas, hace que el clima en esta zona sea árido (SIGMINAN, 2009).



Figura 4. Vista panorámica de la zona árida del centro arqueológica de Caral.

Fuente: Llamocca, (2012).

2.3 Meteorología costera

La meteorología costera se puede definir como aquella parte del estudio de la atmósfera que se ocupa principalmente de los fenómenos que ocurren en la zona costera (Garreaud, Rutllant, Fuenzalida, 2002). Esta descripción incluye la influencia en aguas costeras y la influencia de la superficie del mar en los fenómenos atmosféricos, es decir, la interacción Océano-Atmósfera (OA). El comportamiento de la atmósfera puede ser analizado y entendido en términos de las leyes básicas y conceptos de la física. Los tres campos de la física que son aplicables a la atmósfera son la transferencia radiactiva, la termodinámica y la hidrodinámica tal como lo menciona Garreaud y Aceituno (2007).

2.4 Perfil costero de Supe

El perfil costero de Supe es uno de los más complejos del litoral Peruano. Según Carlotto (2011), una larga serie de eventos geológicos han terminado de darle forma; restos de antigua cordillera de la costa (originada en el precámbrico) se hacen presentes en el valle de Supe y contribuyen a configurar su recordado paisaje.

En el litoral correspondiente a la costa central, discurren más de 8 ríos de caudal permanente que nacen en la vertiente occidental de los Andes tal como lo indica el Sistema de inventario de efectos de desastres (*Desinventar*) y muchas otras cauces fluviales de menor longitud que estuvieron activos en épocas no muy antiguas, cuando las condiciones climáticas fueron más húmedas. Una considerable porción de material detrítico erosionado en las vertientes occidentales de la cordillera, se deposita en el mismo continente, adoptando diferentes formas morfológicas y constituyendo mayormente sedimentos clásticos (Ortlieb, Machare, 1989).

Así como hay una formación de sedimentos en el mar frente a Supe, también encontramos áreas con características desérticas y terrazas fluviales con alrededor de 66 Ha que corresponden al Centro Arqueológico de Caral y cuya configuración superficial es influenciada por la corriente marina de Humboldt conjuntamente con el afloramiento, enfrían el aire circundante provocando baja nubosidad, cuyo avance es interrumpido por la Cordillera de los Andes, impidiéndose la formación de nubes tipo Cumulonimbos, nubes que suelen

producir lluvias intensas, especialmente cuando están plenamente desarrolladas (Junquas, Takahashi, Condom, 2013). Por otro lado los ríos (Fortaleza, Pativilca, Supe y Huaura) al cruzar la aridez de la costa central, forman valles costeros muy fértiles, en cuyas márgenes se emplazan las principales zonas agrícolas, constituyéndose como grandes centros de abastecimiento en los mercados de Caral y Supe.

2.5 Geomorfología de la zona costera de Caral

La ciudad sagrada de Caral se ubica en la parte baja de la cuenca y margen izquierda del río Supe, a unos 350 msnm. En Caral y alrededores se han reconocido tres unidades geomorfológicas regionales, el valle de río Supe, las lomadas y las quebradas transversales (Carlotto, Shady, Manosalva, 2011). Es importante la influencia del río Supe y el Océano Pacífico en la configuración de la fisiografía del área. Climáticamente, se ubica sobre la formación desierto tropical, caracterizado por una aridez completa, sin embargo se identifican flujos de vientos – ráfagas en distintos puntos de análisis que cambian bruscamente los valores de temperatura del aire, tal como se consideraron en el trabajo de campo.

2.5.1 Hidrografía de Barranca

La red hídrica de la provincia de Barranca lo conforman los tres ríos que descienden desde las alturas (Pativilca, Supe, Huaura), perteneciente a la vertiente del Pacífico. Estos ríos toman una dirección predominante noroeste, razón por la cual proviene de las alturas de Huánuco y Cerro de Pasco. Son de régimen irregular, presentando caudales importantes entre los meses de diciembre a abril (Atlas Climático Precipitación y Temperatura - SANIA 2009). En el resto del año las descargas son mínimas tales como en los meses de invierno, casi ninguno alcanza depositar sus aguas al océano Pacífico.

2.5.2 Cuenca hidrográfica del Pacífico - zona Barranca

Dentro de la vertiente del Pacífico en la zona de Barranca se encuentra los ríos Pativilca, Supe y Huaura, a continuación una breve descripción de ellos.

a) Río Pativilca

Ubicado en la Cuenca del mismo nombre. Es un río de la costa central del Perú. El río Pativilca nace en las inmediaciones del nevado Pastoruri de la provincia de Recuay y Bolognesi a una altitud mayor a 5000 msnm. Su curso recorre los distritos de Pachapaqui, Aquia, Huasta, Chiquián, Pacllón, Llaclla, justamente en este Distrito de Llaclla toma el nombre de Río pativilca, Mangas, Canis, Cajamarquilla, Llipa, San Cristóbal de Raján, Aco, Cochas, de la Región Ancash; y parte de la Región Lima Provincias, provincia de Cajatambo; y el distrito de Pativilca en la provincia de Barranca.

Durante su recorrido, recibe el aporte de numerosos afluentes, entre los cuales cabe mencionar por la margen derecha, las quebradas de Picharagra (206 km²). Desagüe (60 km²). Quebrada de Mashcus (252 km²) y los ríos Llamac (288 km²), Rapay (729 km²) y Gorgor (566 km²).

La cuenca del río Pativilca, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 4837km².

Políticamente, se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Recuay y Bolognesi en el Departamento de Ancash, Cajatambo y Barranca en el departamento de Lima.

Geográficamente sus puntos extremos se hallan comprendidos entre los 6° 50' y 10° 55' de Latitud Sur y los meridianos 76° 45' y 77° 50', de longitud oeste.

Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 msnm.

El río Pativilca, que hace un recorrido de 164 km, presenta una pendiente promedio de 3%, la que se hace más pronunciada (14%) entre las nacientes, por la quebrada Llata y su confluencia con la quebrada Huanchay.

El recurso hídrico se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en la falda occidental de la Cordillera de los Andes y de los deshielos de los nevados, localizadas, principalmente en la parte alta.

El río Pativilca, al igual que la mayoría de los ríos de la costa, es de régimen irregular y de carácter torrencioso. La precipitación pluvial anual en la cuenca varía desde escasos milímetros en la costa árida adyacente al Océano Pacífico, hasta un promedio anual de 1200 mm, en la cabecera o nacientes, a una altitud de 4200 msnm; zona donde se presentan variaciones notables de precipitación.

La temperatura en la cuenca presenta variaciones que van el tipo semi-cálido, hasta el tipo frío en Chiquián. Las temperaturas van descendiendo gradualmente, alcanzando el tipo gélido o polar ($>0^{\circ}\text{C}$) al nivel altitudinal de los nevados. A pesar de ser uniformes, las temperaturas medias mensuales presentan una oscilación de $6,2^{\circ}\text{C}$ entre el mes más cálido y el mes más frío. La temperatura promedio anual ha alcanzado $17,7^{\circ}\text{C}$ (Cárdenas, 2001).

b) Río Supe

La cuenca del río Supe se encuentra ubicada en el departamento de Lima, provincia de Supe. Limita por el norte con la cuenca del río Pativilca; por el sur, con la del río Huaura; por el este, con la del río Mantaro y, por el oeste, con el océano Pacífico. La forma general de la cuenca es semejante a la del río Fortaleza y Pativilca, así como el origen del escurrimiento superficial. Nace en las lagunas Aguascocha y Jururcocha con el nombre de Jururcocha se mantiene hasta la localidad de Lascamayo, a partir de la cual toma el nombre de río Ambar; a la altura de la confluencia con la quebrada Carrizal o Jaiva, recibe el nombre de río Supe. El río presenta una pendiente promedio de 5%, la misma que se incrementa hasta llegar a 11% en las partes altas, específicamente en el tramo comprendido entre las localidades de Mitupampa y Ambar.

Las aguas del río Supe son utilizadas por los agricultores de dicho valle principalmente para la irrigación de sus tierras, en las que destacan los cultivos de maíz y caña de azúcar, también en la margen izquierda del valle de Supe se encuentra ubicado la civilización de Caral, cuna de la civilización andina.

c) Río Huaura

El río Huaura nace en la Vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes a más de 5000 msnm, discurre en dirección Oeste para desembocar en el Océano Pacífico.

Presenta un desarrollo longitudinal de 156 km, presentando una pendiente de 3%. La cual se hace más pronunciada en la cuenca alta y en las quebradas que alimentan al curso principal (Cárdenas, 2001).

El río Huaura en un comienzo recibe el nombre de Quichas, manteniendo esta denominación hasta la localidad de Oyón y la desembocadura del río Pampahuay, a partir del cual el río toma el nombre de río de Huaura, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Políticamente la cuenca forma parte de las provincias de Chancay y Oyón, pertenecientes al departamento de Lima; abarcando una extensión de 4770 km² (Cárdenas, 2001).

Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran entre los paralelos 10° 27' y 11° 13' de Latitud Sur y los meridianos 76° 32' y 77° 39' de Longitud Oeste. Limita por el norte con las cuencas de los ríos Supe y Pativilca, por el sur con la cuenca del río Chancay-Huaral, por el este con las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro y por el Oeste con el Océano Pacífico. Cuenta con una superficie de 3015 km² por encima de la cota 1800 msnm y corresponde a la denominada cuenca húmeda del río Huaura.

El relieve de la cuenca presenta un aspecto típico de la mayoría de las cuencas de la costa, una hoya alargada de fondo profundo y pendiente pronunciada, muestra una fisiografía escarpada y profunda y estrechas gargantas.

La cuenca cuenta con área de drenaje de 4392 km² y es drenada por el río Huaura que tiene sus orígenes en los nevados y glaciares altitudinales que pertenece a la vertiente del Océano Pacífico siguiendo una dirección suroeste, el punto más elevado tiene una altitud de aproximadamente 5600 msnm. El río Huaura, colecta el escurrimiento superficial de la cuenca, tiene sus orígenes en una serie de pequeñas lagunas ubicadas en las cercanías de la divisoria que separa a las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro.

Entre estas lagunas destacan las de Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha, embalsadas y en actual operación, todas estas

lagunas se hallan ubicadas a una altitud de 4500 msnm en la parte alta de la cuenca del río Huaura. En la zona inferior de la cuenca, como resultado de la disminución brusca de la pendiente y por consiguiente de la velocidad del agua, se produce deposición del material aluviónico formando una llanura o cono de deyección.

El clima de la cuenca se caracteriza por tener una temperatura que varía desde los 20 °C en la costa hasta los 6 °C en las partes más altas. En costa, hasta unos 800 msnm de altitud, la temperatura desciende (Goodman, 1980).

En el sector altitudinal comprendido entre los 1800 y 2800 msnm el gradiente térmico disminuye con la altitud, el promedio de temperatura es de 14°C. En el sector inmediato, comprendido entre 2800 y 3700 msnm de altitud se ha estimado un valor promedio de 10° (Lagos, Silva, Nickl, 2008).

La temperatura en el sector de la costa de la cuenca no constituye ninguna limitación para el desarrollo agrícola, apreciándose que, en general, el régimen de esta tiende a ser regular y estable, lo que origina una disminución gradual de las temperaturas hacia la parte alta. El escurrimiento natural se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en la cuenca alta y del deshielo de los nevados. Las precipitaciones que ocurren en las zonas altas, durante los meses de octubre a mayo, tienen su origen en las masas de aire húmedo, de la cuenca del Amazonas. En este periodo de meses de lluvia, la dirección de movimiento de las masas de aire es tal que, a pesar de haber descargado su mayor cantidad de humedad en la vertiente oriental del continente, logran pasar a la otra vertiente con un grado de humedad suficiente como para ocasionar precipitaciones de relativa importancia (Takahashi, 2009).

2.6 Eventos oceanográficos de la costa de Barranca

La geomorfología de la línea costera actual en la provincia de Barranca, es el reflejo de los procesos de interrelación entre la costa y el océano, también por la influencia del clima, ocurridos a lo largo del tiempo.

Los afloramientos de aguas costeras originan el enfriamiento de las aguas superficiales que a su vez favorecen la formación de neblinas intensas (Zuta, Guillen, 1970), éstas al llegar a la línea de costa meteorizan profundamente las

rocas aflorantes facilitando la erosión marina. La corriente peruana tiene un ramal costero que se dirige hacia la línea de costa favoreciendo la erosión y determinando la simetría en el extremo norte de muchas bahías. Las bravezas u oleaje de temporadas producen fuertes erosiones de playas y acantilados. La dirección predominante de las crestas de las olas es del suroeste, originándose la erosión costera por el efecto del golpe de las olas y fenómenos de refracción de olas sobre promontorios y salientes, los estudios y observaciones sobre la convergencia o divergencia de las olas, brindan importante información sobre las condiciones de erosión, sedimentación o transporte como lo observado en las bahías de Miraflores y Callao. También existen posibilidades de tsunamis relacionados a sismos, contribuyendo al cambio en la morfología de la línea de costa (Dirección de Hidrografía y Navegación, Departamento de Oceanografía, 2012).

La oceanografía en la costa norte, a lo largo de toda la costa de Caral, se presenta con características muy particulares, originadas principalmente por el complejo sistema de corrientes superficiales y sub-superficiales, asociadas a la variación zonal y temporal de los afloramientos costeros, los mismos que son favorecidos por la intensificación de los vientos alisos del sur y la presencia de la cordillera de los Andes. Estas características condicionan directamente la ecología de nuestras costas y las características químicas del agua de mar. Por lo cual es importante conocer la distribución del campo de viento a nivel local

El afloramiento es un proceso físico que sucede principalmente a lo largo de las costas occidentales de los continentes. El esfuerzo de fricción de los vientos incidentes en la superficie del mar, combinado con el efecto de rotación de la Tierra, originan un desplazamiento de las capas superficiales fuera de la costa, dejando un vacío que es reemplazado por aguas de las capas sub superficiales (Albrecht, 1981).

Al ascender las aguas del fondo hacia la superficie transportan sustancias orgánicas e inorgánicas que sirven de alimento a los organismos planctónicos, y este a la vez es aprovechado como alimento por los peces pelágicos, como la anchoveta y la sardina principales recursos pesqueros.

Cabe resaltar que los afloramientos más intensos y persistentes del planeta ocurren frente a las costas del Perú, lo que hace que exista una gran

riqueza pesquera y concentración de una gran biomasa hidrobiología, por ejemplo frente a Huacho (Figura 5).

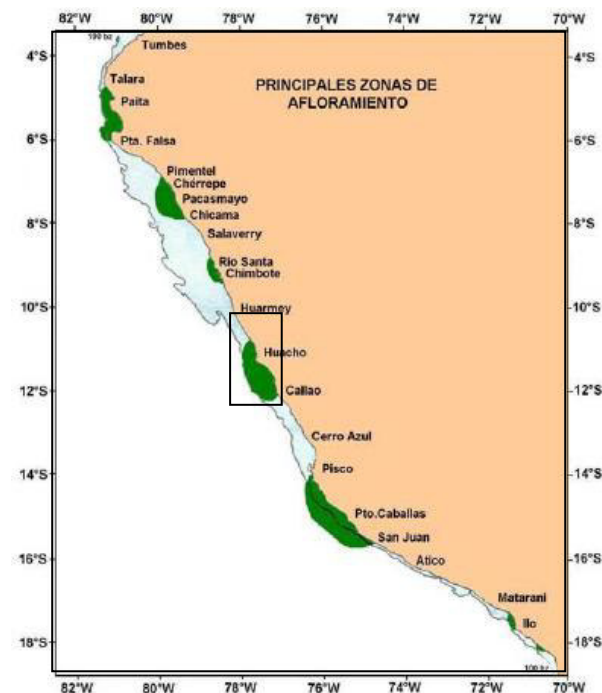


Figura 5. Principales zonas de afloramiento en el Perú.

Fuente: Bolt. Imarpe, 2000.

2.6.1 Corriente de Humboldt

La corriente de Humboldt, es una corriente oceánica fría que fluye en dirección norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, originada por el ascenso de aguas profundas, por lo tanto muy frías y que fue descrita por el científico Alexander Von Humboldt. Se debe a los efectos combinados del movimiento de rotación terrestre y de la fuerza centrífuga de las aguas oceánicas en la zona ecuatorial, junto con la corriente del Golfo, la corriente de Humboldt es una de las más importantes del mundo (Zuta y Guillen, 1970).

Ejerce influencia determinante sobre el clima de la costa central, con cielos cubiertos de neblinas, ausencia de lluvias y temperaturas templadas durante el invierno. Por la latitud de la costa central, el clima deberá corresponder a la zona intertropical; pero las aguas frías, hacen descender la temperatura superficial de la atmósfera, lo que causa un clima sumamente árido, por la escasa evaporación de las aguas frías. Por otro lado la capa de inversión térmica tiene efectos que caracterizan el clima de las regiones litorales mediante el contacto de la corriente de aire cálido y frío; la variación

drástica de patrones de circulación cuya característica es la contribución de este tipo de corrientes, generan una área local con desiertos costeros áridos.

2.6.2 Evento El Niño

El Niño en términos muy generales se reconoce que es un evento a escala global, que conlleva principalmente al aumento generalizado de la temperatura superficial del mar (TSM) en gran parte del sector central y oriental del Pacífico ecuatorial y tropical; asimismo, ocurre disminución de la presión atmosférica en el Pacífico Sur Oriental y ecuatorial oriental (Resumen Ejecutivo ENFEN, 2013).

El denominado Evento El Niño, es un calentamiento proveniente del norte, que se presenta a menudo hacia fines del mes de diciembre de cada año. Baña parte de la costa ecuatoriana y se extiende por toda la zona costera peruana aproximadamente hasta los 06° de latitud sur (Sechura-Piura), donde se encuentra con la Corriente Peruana (ENFEN, 2012)

La fenómeno El Niño se caracteriza por tener altas temperaturas a lo largo de la costa Norte y parte de la costa central, influenciadas por las zonas Niño 1+2 (Figura 6), asimismo se evidencia baja salinidad, pobre en nutrientes y por ocasionar fuertes precipitaciones (PpR/El Niño, IGP/2014-04).

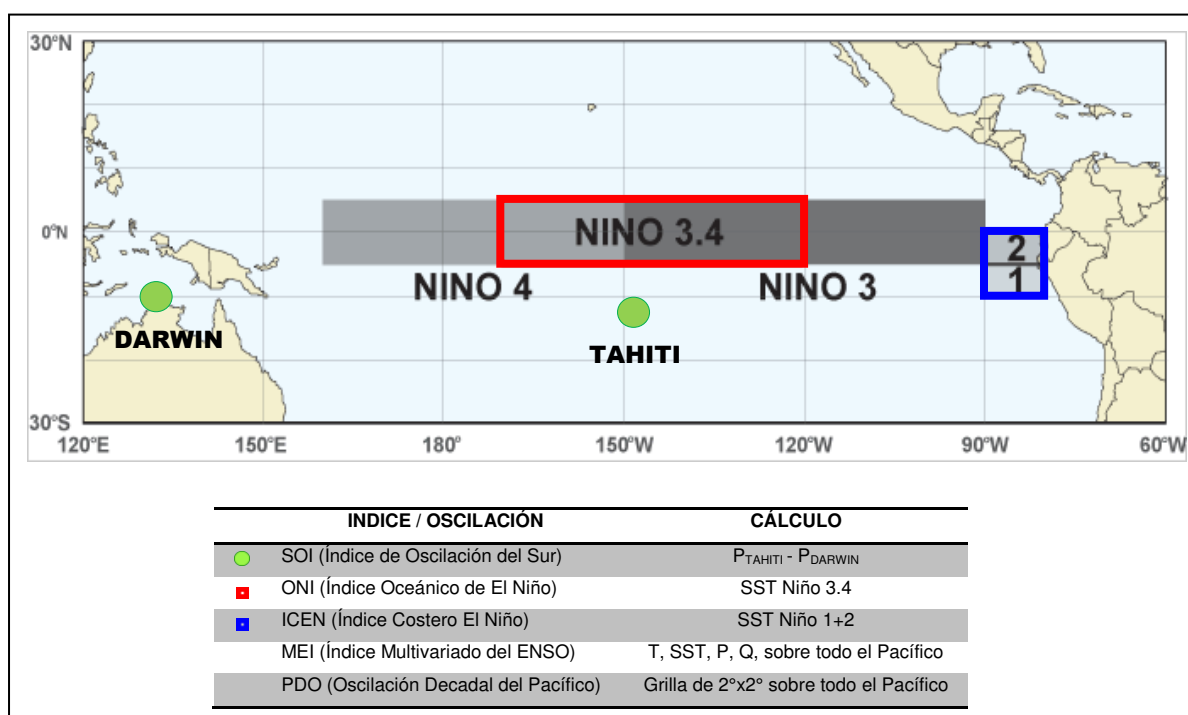
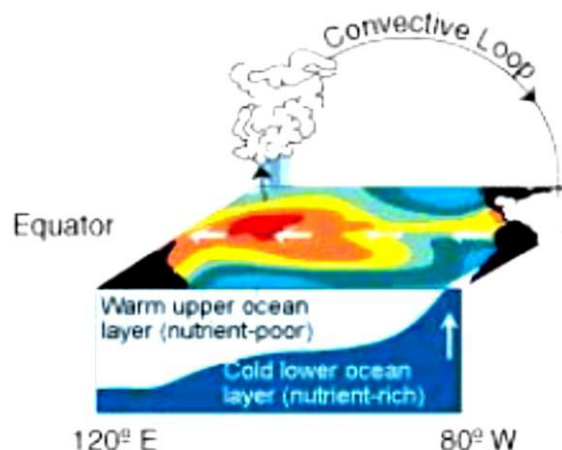


Figura 6. Regiones del Niño. Fuente: <http://www.noaa.gov/>



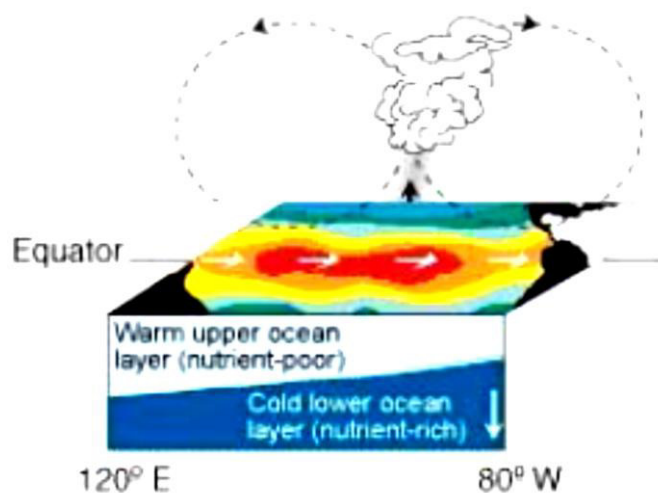
'Convective loop' = Lazo convectivo

'Equator' = Ecuador

'Warm upper ocean layer (nutrient-poor)' = Capa oceánica superior cálida (pobre en nutrientes)

'Cold lower ocean layer (nutrient-rich)' = Capa oceánica inferior fría (rica en nutrientes)

Figura 7. Condiciones Normales. Fuente: <http://www.noaa.gov/>



'Convective loop' = Lazo convectivo

'Equator' = Ecuador

'Warm upper ocean layer (nutrient-poor)' = Capa oceánica superior cálida (pobre en nutrientes)

'Cold lower ocean layer (nutrient-rich)' = Capa oceánica inferior fría (rica en nutrientes)

Figura 8. Condiciones de El Niño. Fuente: <http://www.noaa.gov/>

El fenómeno "El Niño" según la National and Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) es el resultado de una profunda alteración de las características físicas del Océano Pacífico Tropical en particular y de la atmósfera global, que en su etapa madura se muestra como una invasión de aguas cálidas desde el oeste hacia las costas americanas, cuyos efectos pueden ser muy severos en el clima, en los ecosistemas y en consecuencias socio económicas de las regiones (Figura 7 y 8).

Las probables causas de este fenómeno obedecerían a profundas alteraciones entre la atmósfera y el océano, que se generarían en la región del Pacífico Tropical, ocasionando anomalías en la circulación general de la

atmósfera, repercutiendo con efectos muy variados a nivel global. La ocurrencia de este fenómeno trae como consecuencia alteraciones climáticas, acompañadas principalmente de abundantes lluvias, alteraciones en los ecosistemas marinos y terrestres, trastornos en la población directamente afectada e impactos negativos en la economía nacional.

Machare, Ortlieb, 1993 indican evidencias geológica de los efectos ocasionados por el evento El Niño en las comunidades costeras desde hace trece mil años, además se cuenta con crónicas escritas sobre la ocurrencia de este fenómeno durante la época de la conquista. Otros estudios se han basado en rasgos geomorfológicos de los cordones litorales y su contenido de moluscos, los cuales son considerados como indicadores confiables de su ocurrencia y han sido tomados en cuenta desde el punto de vista ecológico, arqueológico, geoquímico y paleontológico.

Documentos históricos, indican que este tipo de fenómenos ocurrieron como episodios extraordinarios El Niño durante los años: 1578, 1721, 1828, 1877 - 1878, 1891, 1925 - 1926, 1982- 1983, 1997 – 1998 y otros eventos de mediana magnitud se presentaron durante este siglo en los años: 1911 - 1912, 1917, 1932, 1951, 1957 - 1958, 1972 - 1973, 1976, 1987, 1992 (<http://www.noaa.gov/>).

a) Manifestaciones del Evento El Niño en Sudamérica

Las características más importantes que presenta el evento "El Niño" en las costas occidentales de Sudamérica (lado este del Pacífico) son las siguientes:

- Aumento del nivel medio del mar.
- Aumento de la temperatura del mar y del aire.
- Debilitamiento de los vientos alisios.
- Disminución de la presión atmosférica.
- Aumento de magnitud y frecuencia de lluvias.
- Debilitamiento de la Corriente Peruana.
- Profundización de la termoclina (zona que separa las aguas superficiales y profundas).
- Cambios en la disponibilidad y distribución de los recursos marinos.

2.6.3 Evento La Niña

Se le llama así porque presenta condiciones contrarias al evento El Niño. Suele ir acompañado del descenso de las temperaturas y provoca fuertes sequías en las zonas costeras del Pacífico. "La Niña" como primer evento se identificó en 1903, y siguió en 1906, 1909, 1916, 1924, 1928, 1938, 1950, 1954, 1964, 1970, 1973, 1975, 1988, y en 1995. Siendo el más intenso el de 1988/1989 (<http://www.noaa.gov/>).

El hablar de "La Niña" se refiere directamente a una gran intensificación del afloramiento costero y el afloramiento ecuatorial, al oeste de las islas Galápagos. Durante este evento, la surgencia de aguas frías da lugar a un fortalecimiento y ascenso de la termoclina a una capa muy superficial, aflorando dentro de las 30 ó 50 millas de la costa según su intensidad. Además de la proyección hacia el NO de las bajas temperaturas y la baja salinidad de las aguas ecuatoriales superficiales que se repliegan al norte; mostrando una amplia distribución de los nutrientes a lo largo del litoral (Resumen Ejecutivo ENFEN, 2012).

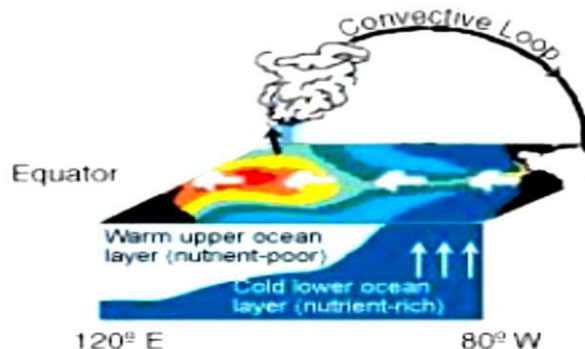
Este evento se desarrolla cuando la fase positiva de la Oscilación del Sur (oscilación en la presión atmosférica entre el sudeste y el sudoeste de aguas del Pacífico), alcanza niveles significativos y se prolonga por varios meses y se caracteriza, entre otras, por las siguientes condiciones, las cuales son opuestas a las de los episodios El Niño:

- Disminuye la presión del nivel del mar en la región de Oceanía, y un aumento de la misma en el Pacífico tropical y subtropical, junto a las costas de América del Sur y América Central; lo que provoca el aumento de la diferencia de presión, que existe entre ambos extremos del Pacífico Ecuatorial.
- Los vientos alisos se intensifican, provocando que las aguas profundas relativamente más frías a lo largo del Pacífico Ecuatorial, queden en la superficie.
- Los vientos alisos anormalmente intensos, ejercen un mayor efecto de arrastre sobre la superficie del océano, aumentando la diferencia de nivel del mar entre ambos extremos del Pacífico Ecuatorial. Con ello el

nivel del mar disminuye en las costas de Colombia, Ecuador, Perú, norte de Chile y aumenta en Oceanía.

- Como resultado de la aparición de aguas relativamente frías a lo largo del Ecuador, la temperatura superficial del mar disminuye por debajo del valor medio climatológico. Esto constituye la evidencia más directa de la presencia del fenómeno La Niña. Sin embargo las máximas anomalías térmicas negativas son menores a las que se registran durante El Niño.
- Durante los eventos La Niña, las aguas cálidas en el Pacífico Ecuatorial, se concentran en la región junto a Oceanía y es sobre esta región, donde se desarrolla la nubosidad y la precipitación más intensa.

El Evento La Niña puede durar de 09 meses a 03 años; según su intensidad se clasifica en débil, moderado y fuerte. La Niña es más fuerte, mientras menor es su duración, y su mayor impacto en las condiciones meteorológicas se observa en los primeros 06 meses de vida del evento. Por lo general comienza desde mediados de año, alcanza su intensidad máxima a finales y se disipa a mediados del año siguiente, PpR/El Niño-IGP/2014-04.



'Convective loop' = Lazo convectivo

'Equator' = Ecuador

'Warm upper ocean layer (nutrient-poor)' = Capa oceánica superior cálida (pobre en nutrientes)

'Cold lower ocean layer (nutrient-rich)' = Capa oceánica inferior fría (rica en nutrientes)

Figura 9. Condiciones de la Niña.

Fuente: <http://www.noaa.gov/>

El área de Caral, se ve afectado en épocas cuando ocurre este fenómeno, por encontrarse en la zona costera del Océano Pacífico y ocasionando una ampliación de los afloramientos marinos, que se producen como consecuencias de la intensificación de los vientos alisios.

2.6.4 El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)

Es un ciclo global que tiene dos extremos: una fase cálida conocida como El Niño y una fase fría, precisamente conocida como La Niña. Ambos modos de variabilidad océano-atmosféricos se desarrollan en el Océano Pacífico ecuatorial y tropical (Resumen Ejecutivo ENFEN, 2012).

El paso de un extremo al otro se ve influido por una estrecha relación entre la temperatura de la superficie del mar y los vientos. Cuando el régimen de vientos alisios es fuerte desde el este, las temperaturas ecuatoriales se enfrían y comienza la fase fría o La Niña. Cuando la intensidad de los alisios disminuye, las temperaturas superficiales del mar aumentan y comienza la fase cálida, El Niño.

Cualquiera de ambas condiciones se expande y persisten sobre las regiones tropicales por varios meses y causan cambios notables en las temperaturas globales, y especialmente en los regímenes de lluvias a nivel global. Dichos cambios se suceden alternativamente en períodos que varían de los cinco a los siete años en promedio. Se tienen registros de su existencia desde épocas prehispánicas.

2.6.5 Eventos ENSO

El siguiente gráfico tomado de la NOAA nos muestra curvas para series de años con presencia fuerte de ENSO, se presentan las curvas referidas a los 7 más fuertes eventos El Niño desde 1950. Esas curvas se basan en la construcción de un índice multivariado que fluctúa entre valores que van desde 2 hasta aproximadamente 4 meses.

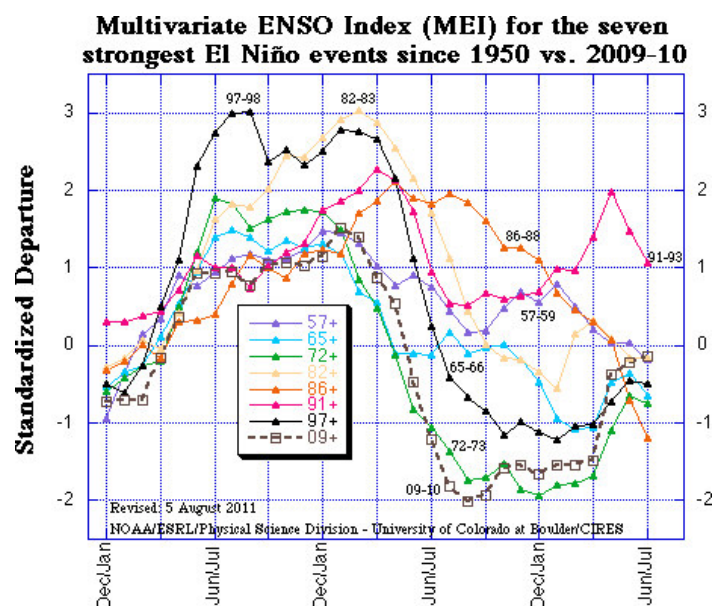


Figura 10. Series de años con presencia fuerte de ENSO.

Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/>

En este gráfico se puede notar que los eventos El Niño, más fuertes son:

Cuadro 01. Años cálidos

Verano (Noviembre-Marzo)	Invierno (Mayo-Septiembre)
1982-83	1965
1991-92	1972
1997-98	1982
1957-58	1987
1986-87	1991
1972-66	1993
1965-66	1994
-	1997

Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/>

En este cuadro 1 se constata que efectivamente El Niño del año 1982-83 fue el más intenso de los últimos tiempos. Además de este Niño consideraremos aquellos eventos de intensidades similares: 1991-92, 1997-98, 1986-87, 1972-73.

Esta serie de eventos se contrasta con la secuencia de la base de datos de Desinventar¹, donde se muestra la secuencia bianual correspondiente a los años Niños.

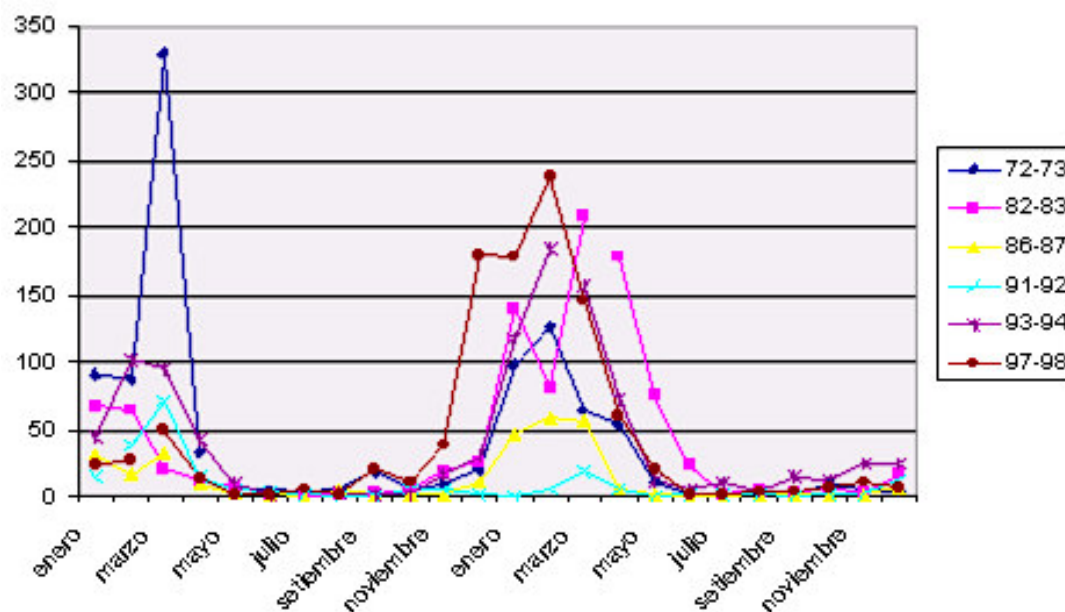


Figura 11. Eventos ENSO según Desinventar.

Según El Proyecto Gestión de riesgo de desastre ENSO en América Latina (2006), los eventos asociables con ENSO en el Perú son 7: aluvión, avenida torrencial, deslizamiento, inundación, lluvias, ola de calor y tempestad. Estos eventos son los más representativos fenómenos climáticos, asociados a ENSO o que se intensifican debido a El Niño en el Perú. Por otro lado la costa central es la principal región influenciada por ENSO, ya que a pesar de tener un 35 % de eventos totales registrados, el 26,5% de éstos se pueden caracterizar, conformando un poco más de la cuarta parte del total de reportes de eventos (Cuadro 2).

¹Sistema de Inventarios de efectos de desastres en América Latina. En el proyecto de IAI-La Red Gestión de riesgos de desastres ENSO se actualizó para el periodo 1970-2002.

Esto se debe básicamente a Lima, que alcanza 20,6% y Ancash 8,0%, sobre los otros lugares de ubicación observamos a Ica con 4,0% y Callao con 2,5%. Si sumamos Lima y Callao observamos que ambos logran un 23,1% es casi la cuarta parte de la base nacional (Cuadro 3), si además agregamos el porcentaje de Ancash vemos que alcanza un 31,1% casi la tercera parte del total de reportes se congrega en estos tres departamentos. Se observa un porcentaje considerable del total concentrado en esta región (Proyecto Gestión de riesgo de desastre ENSO en América Latina, 2006).

Llama la atención que el porcentaje de eventos fuertemente relacionados con ENSO es el menor alcanzado en relación a otras regiones. Esto podría deberse al elevado número de reportes de la base en la Costa Central, ésta es una base amplia que concita un abanico muy variado de tipologías de eventos ocurridos, ésta diversidad es mayor en relación con otras regiones (Proyecto Gestión de riesgo de desastre ENSO en América Latina, 2006).

Las condiciones que presenta la costa hacen que esta región sea más sensible a los impactos de ENSO, incrementando la vulnerabilidad o haciendo potenciales las amenazas (sean éstas antrópicas o naturales) provocando que el riesgo también aumente.

Cuadro 2. Eventos caracterizables ENSO por regiones

Zonas		Frecuencia	Porcentaje
Región	Costa Norte	1463	18,7
	Costa Central	2078	26,5
	Costa Sur	924	11,8
	Sierra Norte	530	6,8
	Sierra Central	1311	17,6
	Sierra Norte	1119	14,3
	Selva	348	4,4
	Total	7839	100,0

Fuente: Proyecto Gestión de riesgo de desastre ENSO en América Latina, 2006.

Cuadro 3. Eventos ENSO en la Costa Central

UBICACION	EVENTOS TOTALES	% EVENTOS TOTALES	EVENTOS CARACTERIZABLES ENSO	% EVENTOS CARACTERIZABLES ENSO	%EVENTOS CARACTERIZABLES ENSO EN RELACIÓN AL TOTAL DE EVENTOS DEL DEPARTAMENTO
ANCASH	1542	8%	717	9.15%	40.4%
CALLAO	471	2.5%	50	0.64%	10.6%
LIMA	3960	20.06%	1093	13.94%	27.6%
ICA	770	4%	218	2.78%	28.3%
COSTA CENTRAL	6743	35.10%	2078	26.5%	30.8%

Fuente: Proyecto Gestión de riesgo de desastre ENSO en América Latina, 2006.

2.7 El Clima

El clima abarca, considerando promedios de los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un período representativo: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente.

Los principales factores naturales que afectan al clima son la latitud, altitud, continentalidad, corrientes marinas, vegetación y vientos (Dudley, Chelton, Coupled, 2010). Según se refiera a la región se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima). El clima es un sistema complejo de cinco componentes: atmósfera, criósfera, océano, superficie terrestre, biósfera; por lo que su comportamiento no es fácil de predecir. Por una parte hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente, a variaciones sistemáticas como el aumento de la radiación solar o las variaciones orbitales pero, por otra, existen fluctuaciones más o menos caóticas debidas a la interacción entre forzamientos, retroalimentaciones y moderadores.

2.7.1 Sistema de vientos

El viento superficial a lo largo de la costa central muestra una dirección predominantemente paralela a la costa, una notable persistencia a través del año y un marcado ciclo diario, especialmente en la velocidad. La importancia de este parámetro meteorológico radica en su importancia como agente en los procesos de surgencia de agua fría y en los mecanismos de intensificar las condiciones áridas en nuestra área de estudio. Se evidencia una directa

interconexión entre procesos oceánicos y meteorológicos. La figura 12 esquematiza los elementos básicos de esta interrelación, donde la diferencia de temperatura (ΔT) entre la superficie desértica (T_0) y oceánica (TSM) actuarían como motor de la circulación atmosférica regional a lo largo de la costa. Ésta a su vez, modificaría ΔT a través de un ciclo de retroalimentación positiva.

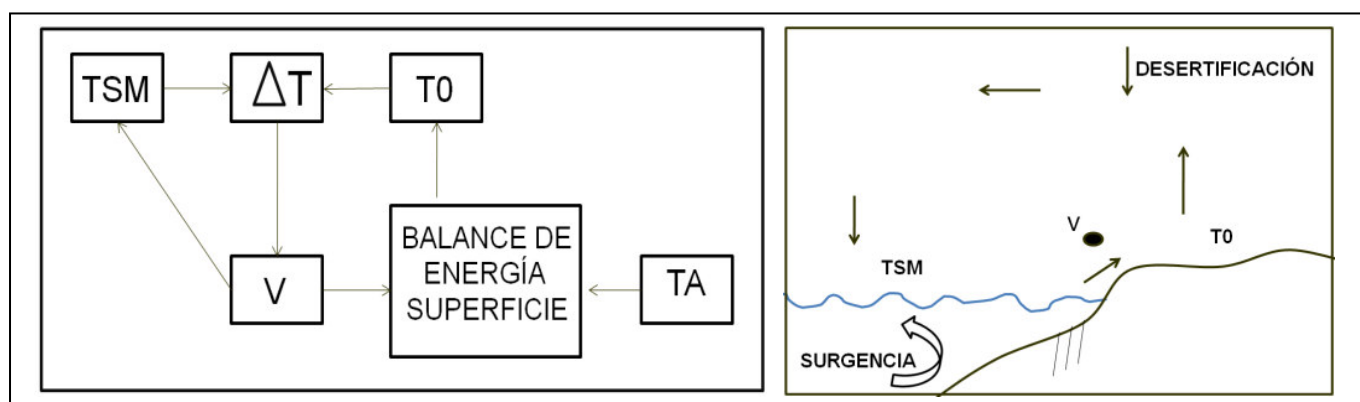


Figura 12. Esquema del proceso de surgencia de aguas frías y los vientos costeros (Rutlan, 1982).

CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Método de investigación

Para alcanzar los objetivos propuestos, se siguieron métodos de investigación, divididas en cuatro fases, con el fin de obtener un mejor desarrollo.

- **Fase I.** Trabajos de gabinete, basados en recopilación de información bibliográfica y base de datos, con el objetivo de evaluar y fundamentar el estudio a realizar.
- **Fase II.** Está referida al control de calidad de los datos meteorológicos, condición previa necesaria para la interpretación del comportamiento de las variables meteorológicas, donde se busca las series más largas y homogéneas, para así tener una representatividad espacial y temporal de las variables. Donde se realizó un control visual de los datos dentro del cual se descartaron datos dudosos y los datos faltantes no fueron rellenados. Luego con la aplicación de un paquete estadístico que contiene el Rclimindex se identifica datos erróneos como, $T_{min} > T_{max}$, $Prec < 0$, y los datos faltantes fueron codificados con -99,9 para trabajar en Rclimindex, y luego reemplazados por NaN para trabajar en Matlab en la aplicación para la obtención de series mensuales, anuales y anomalías estandarizadas para la identificación de los años Cálidos, fríos y la determinación de los principales componentes armónicas.
- **Fase III.** Descripción de los patrones de circulación a nivel mensual mediante el ERA Interim niveles de 850hPa y 200hPa cuya resolución es de $0.75^\circ Lat \times Lon$.
- **Fase IV.** Descripción de la variabilidad de las condiciones climáticas y meteorológicas en el valle de Supe - Caral.

3.1.1 Recopilación de información

La investigación documental consistió en elaborar un marco teórico conceptual a fin de formar ideas, sobre la caracterización climática del valle de Supe - Caral, mediante la recopilación de antecedentes referentes a trabajos similares, con el propósito de familiarizarse con la metodología empleada en

estos estudios y definir algunos objetivos específicos que conduzcan ordenadamente a responder las preguntas planteadas en la presente investigación.

3.1.2 Información de Campo

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), como ente de la evaluación y generación de datos meteorológicos de observación, se procedió a la recopilación de información de campo, identificando el área de estudio y la descripción de este en términos de cambio climático. En esta parte de la investigación se identifica las principales variables que simulan los procesos de circulación a nivel local; para esto se realizó un recorrido desde la zona costera, correspondiente a Supe, en dirección a Caral (Figura 13). Se observa la influencia del viento y los cambios de temperatura a lo largo del valle de supe. Para la dirección del viento se determina identificando “*de donde viene y a donde se dirige*”, en ese sentido la influencia del viento es con dirección sureste (SE) con ráfagas de 10 m/s. Estos aumentos en magnitud del viento se puede observar en las inclinaciones de los arboles llamados sauce, con alturas de 12 m en promedio a lo largo del valle de Supe.

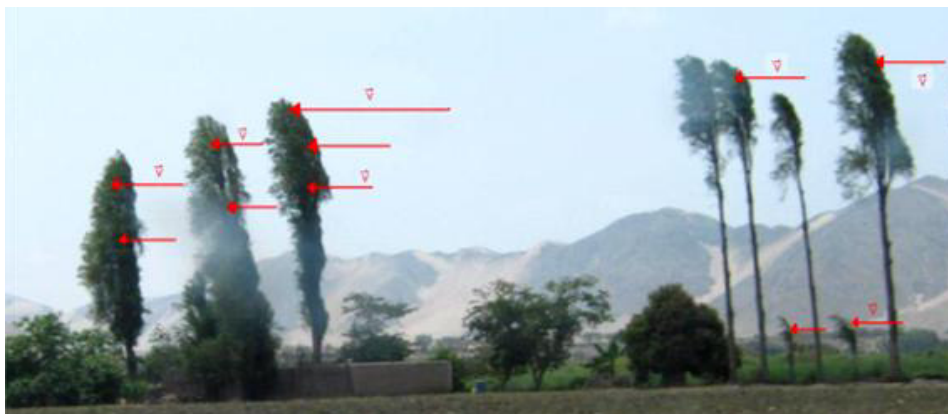


Figura 13. Influencia de ráfagas de viento en la estructura vertical de los arboles (Ciprés). **Fuente:** Llamocca, (2012).

3.2 Diseño de Investigación

3.2.1 Tratamientos de datos meteorológicos

El control de la calidad de la información meteorológica se refiere a una serie de procedimientos o secuencia de pasos cuyo fin es la obtención de la

representatividad del dato, respecto a su magnitud real. Esta obtención de resultados depende no solo de las técnicas analíticas empleadas, también dependen de la calidad de los datos, densidad de la muestra, la homogeneidad de los datos, la coincidencia temporal de la observación entre estaciones. Entendemos como homogeneidad, a la serie de datos meteorológicos que no han sufrido variaciones en la ubicación de la estación meteorológica, que no poseen datos anómalos (*outliers*), es decir que se trata de una serie representativa de la zona o lugar de estudio.

3.2.2 Control de Calidad

En la costa central correspondiente al área de Caral se identificaron 11 estaciones meteorológicas, de las cuales se analiza en total 9 estaciones, 6 corresponden al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, con registros de 40 años y los otros 3 corresponden al Proyecto Especial Arqueológico Caral Supe, con registros de 2 años; dependiendo su ubicación y el tipo de estación, sea meteorológica y/o pluviométrica, se analizara las principales variables meteorológicas (temperatura máxima, mínima, viento y precipitación). En cuanto a la densidad de información meteorológica se precisa que en la mayoría existen datos faltantes, inclusive de periodos largos, lo que restringe su análisis en el periodo de detección de la variable.

Cuadro 4. Ubicación de las estaciones meteorológicas. T: temperatura, PP: precipitación, HR: humedad relativa y V: viento.

Estación	Categoría	Variables				Distrito	Provincia	Altitud(msnm)	Latitud (LS)	Longitud (LW)
		T (°C)	PP (mm/mes)	HR (%)	V (m/s)					
Alcantarilla	CO	X	X	X	X	Huaura	Huaura	120	11° 03'1"	77° 33'1"
Paramonga	MAP	X	X	X	X	Pativilca	Barranca	20	10° 41'1"	77° 48'1"
Camay	CO	X	X	X	X	Végueta	Huaura	59	10° 54'47.7"	77° 38'57"
Andahuasi	CO		X			Sayan	Huaura	770	11° 08'1"	77° 14'1"
Santa Rosa	CO	X	X			Sayan	Huaura	380	11° 13'1"	77° 23'1"
Andajes	CO		X			Andajes	Oyón	2725	10° 47'1"	76° 54'1"
Vichama	PE				X	Vegueta	Huaura	16	11°01'25.63"	77°38'39.17"
Áspero	PE				X	Supe	Barranca	45	10°47'46.98"	77°44'30.02"
Caral	PE				X	Supe	Barranca	350	10°53'17"	77°31'10.3"

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. MAP: Meteorológica Agrícola Principal; CO: Climatológica Ordinaria; PE: Propósito Específico.

En esta tesis de investigación se hizo uso del paquete RClindex del *Expert Team on Climate Changes Detection and Indices (ETCCDI)*, el cual posee un módulo de control de calidad de datos, que consiste en una serie de pruebas para garantizar que las variables no posean magnitudes en la serie que se consideren "no permisibles" en decir:

- a. **Chequeo grueso de errores:** se emplean umbrales para señalar errores obvios en los datos (valores imposibles, anómalos, probables errores de tipeo, precipitación<0).
- b. **Pruebas de tolerancia:** diseñadas para detectar valores atípicos tras definir límites climatológicos en la serie de tiempo analizada.
- c. **Consistencia interna:** como por ejemplo, valores en los que la temperatura máxima < temperatura mínima.
- d. **Prueba de coherencia temporal:** para verificar si la variabilidad observada de una observación a la siguiente se encuentra dentro de un límite característico para la estación (análisis de saltos anómalos en los datos).
- e. **Chequeo de coherencia espacial:** con el objeto de verificar si el comportamiento de las observaciones son consistentes con las reportadas al mismo tiempo por otras estaciones similares en un vecindario espacial dado.

El formato de entrada de datos del Rclindex consiste principalmente en:

- Archivo de texto ASCII
- Columnas en las siguientes secuencias: Año, Mes, Día, PRCP (precipitación), TMAX (temperatura máxima), TMIN (temperatura mínima). (NOTA: unidades de PRCP= milímetros y unidades de Temperatura= °C).
- El formato descrito anteriormente debe ser delimitado por espacios (cada elemento separado por uno o más espacios).
- Para los registros de datos, los datos faltantes deben ser codificados como -99.9; los registros de datos deben estar en orden cronológico.

Para el cálculo de índices el Rclimindex establece umbrales en:

❖ **Temperatura máxima (TXx)**

Sea Tx_{kj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TXx_{kj} = \max Tx_{kj} \dots\dots\dots (1)$$

La ecuación (1) permite el cálculo del número de días cuando la temperatura máxima diaria ha excedido el umbral de 29°C.

❖ **Temperatura mínima (TNx)**

Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:

$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj}) \dots\dots\dots (2)$$

La ecuación (2) permite el cálculo del número de días cuando la temperatura mínima diaria ha excedido el umbral de 8°C.

En ese sentido se identifica para cada estación meteorológica la serie completa de temperatura máxima y temperatura mínima diaria con ciclos semianuales, anuales, valores extremos y la verificación de la densidad de información en análisis.

La observación rápida de estas series de las variables de temperatura de aire máxima y mínima, nos indican que la estación Alcantarilla (Figuras 14,15) aporta una buena información representando claramente el comportamiento semianual (temperaturas altas a comienzos del año y bajas temperaturas a medio año) durante todo el periodo. Este comportamiento nos indica también que no existen valores de temperatura máxima mayores a la temperatura mínima por lo cual se corrobora la consistencia interna y la prueba de coherencia temporal de la información en análisis. A diferencia de la Estación Camay (Figuras 16,17) donde se observa una densidad de datos muy bajos e incluso registros anómalos que dan entender una baja confiabilidad de los mismos, esto permite hacer un análisis en el periodo 1967-1999 y a partir del 2000 para adelante se considera datos erróneos.

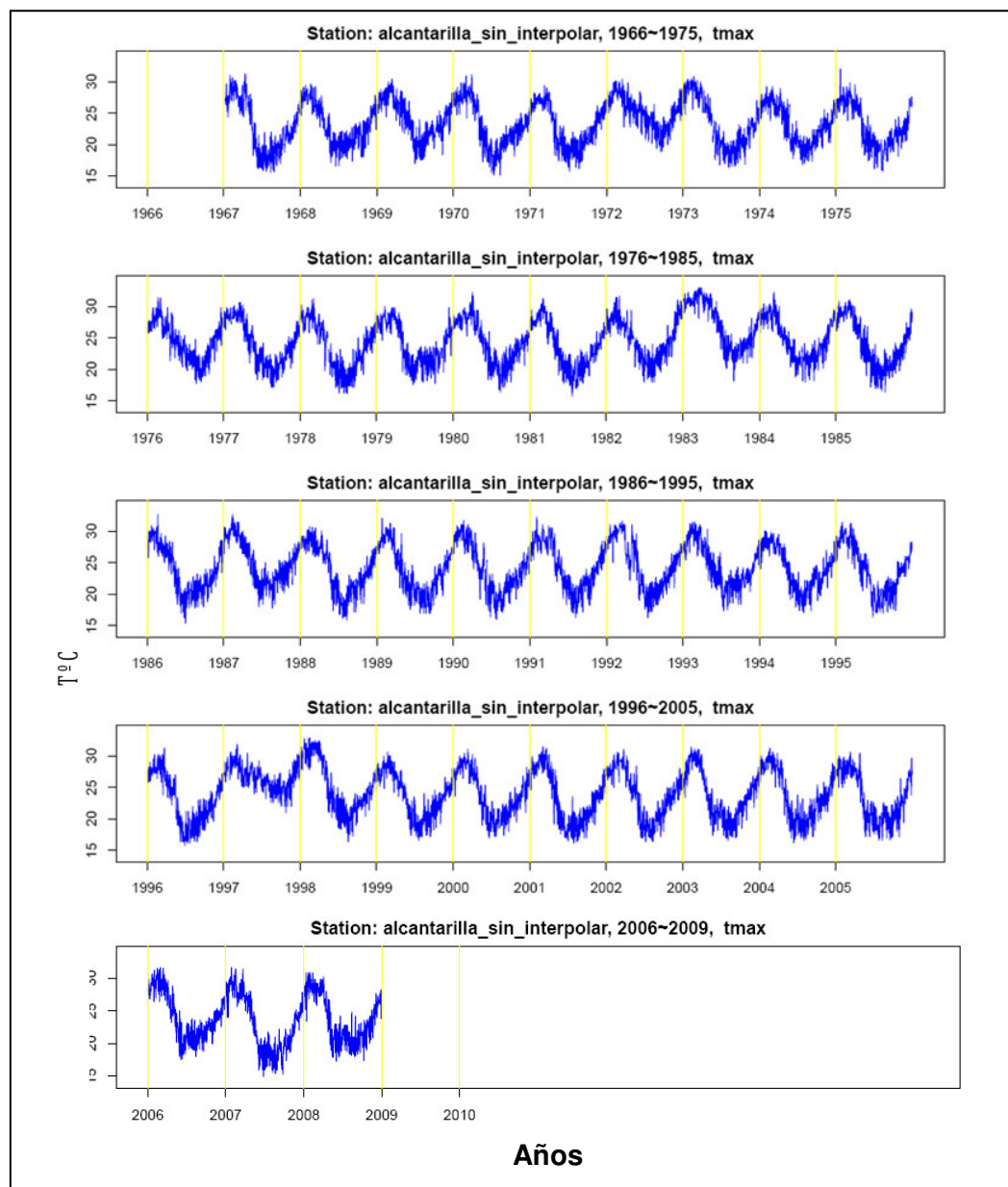


Figura 14. Datos diarios de la temperatura máxima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Alcantarilla SENAMHI.

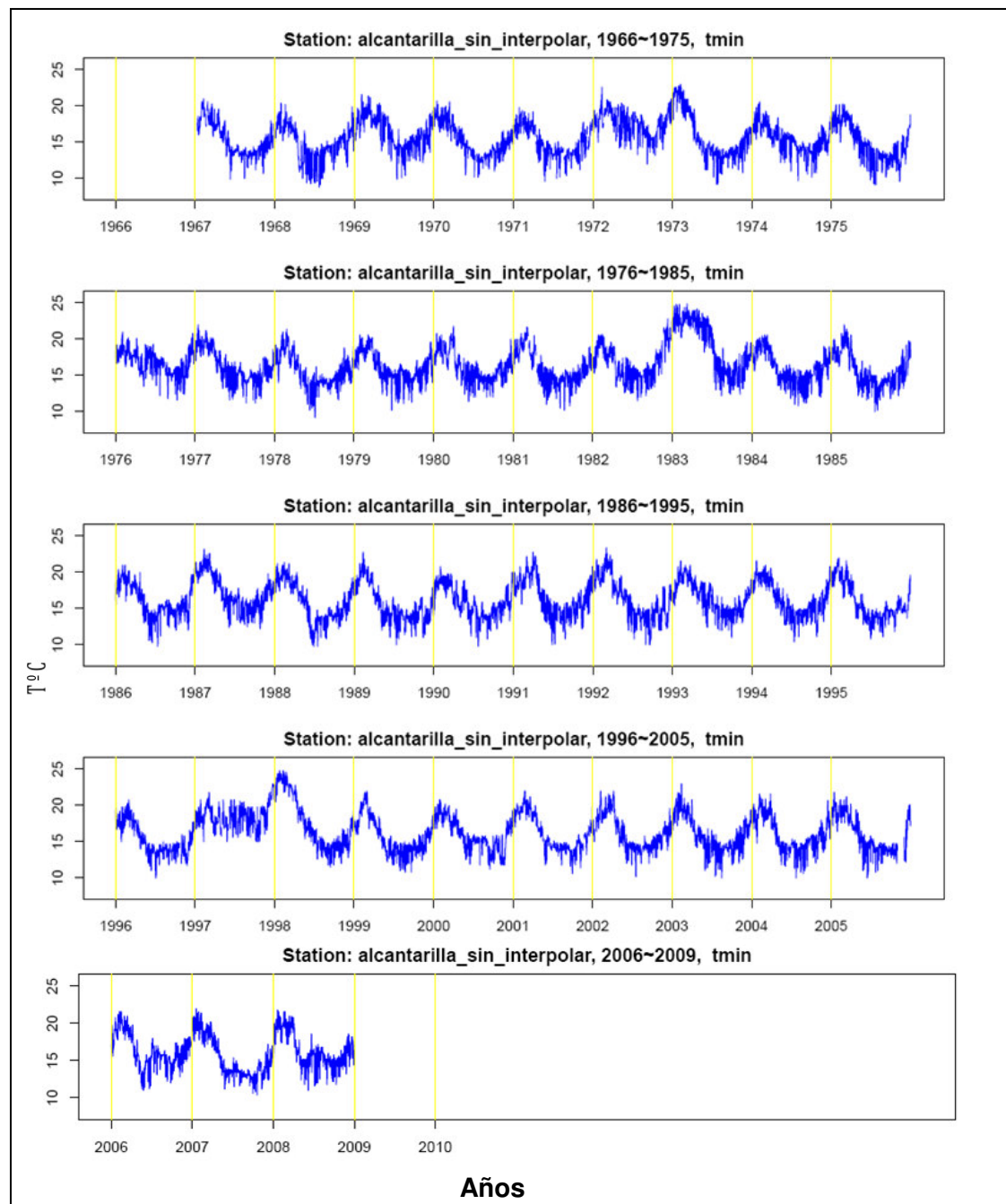


Figura 15. Datos diarios de la temperatura mínima del aire mediante el Rclimdex. Fuente: Estación Alcantarilla SENAMHI.

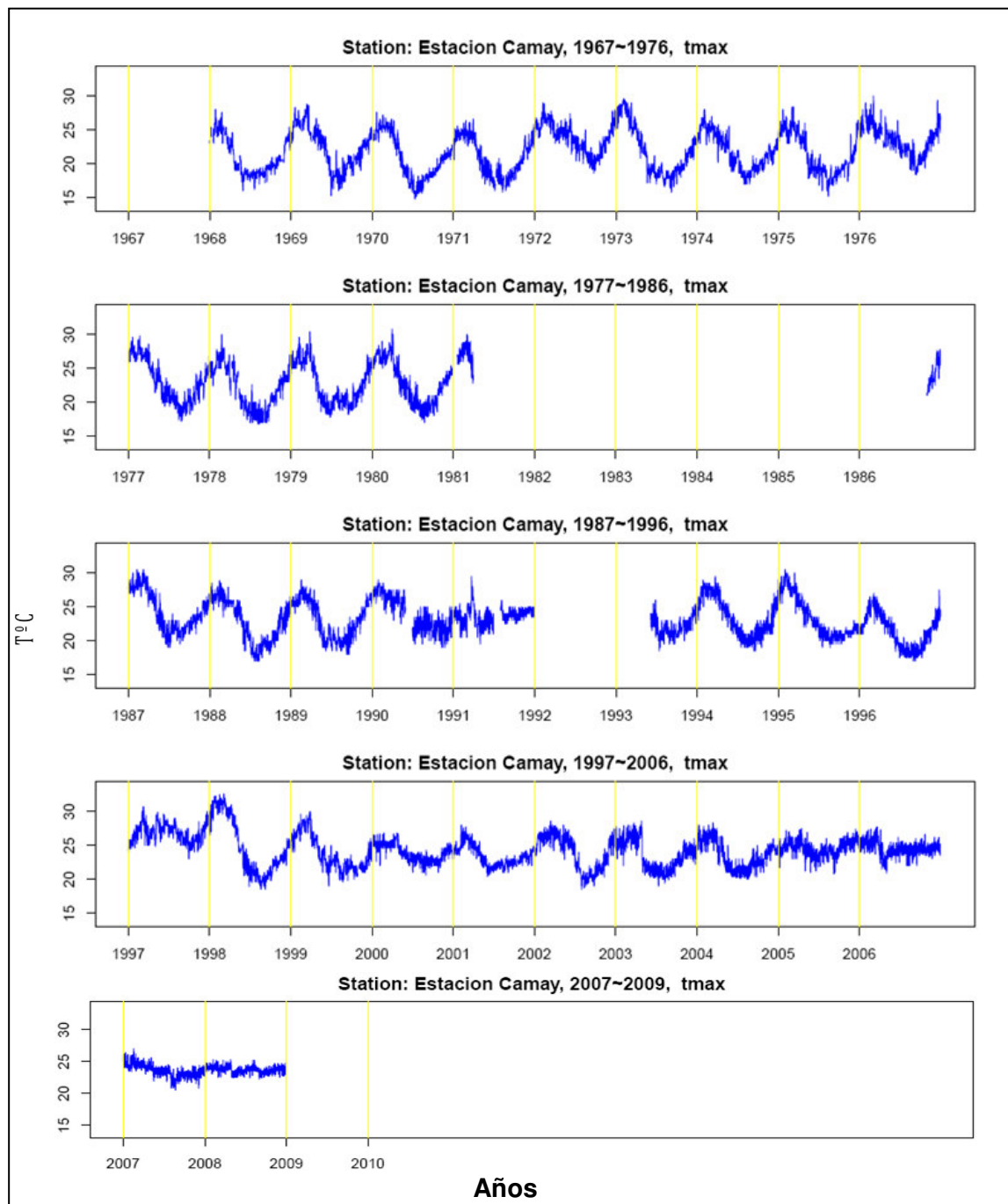


Figura 16. Datos diarios de la temperatura máxima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Camay SENAMHI.

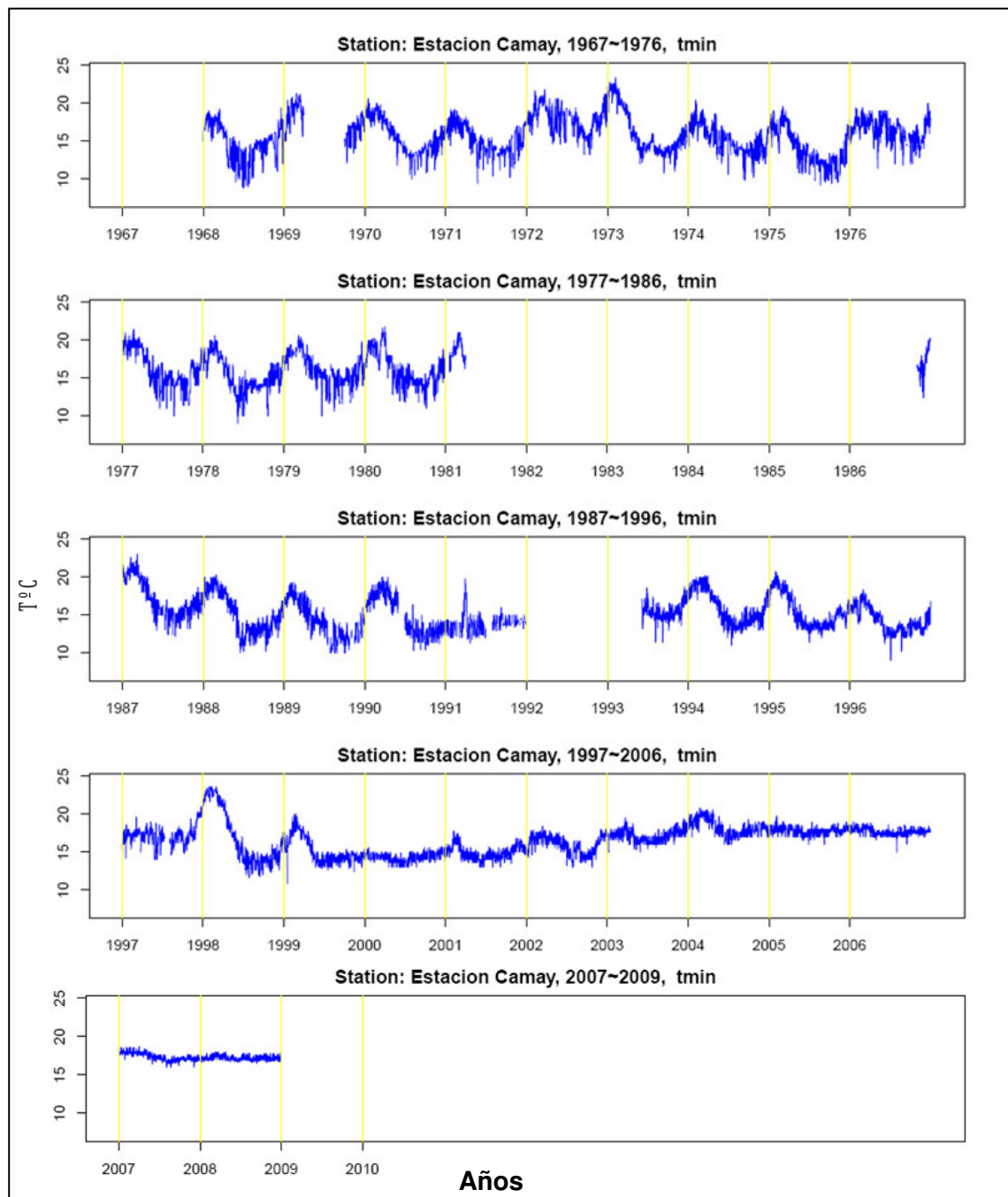


Figura 17. Datos diarios de la temperatura mínima del aire mediante el Rclimindex. Fuente: Estación Camay SENAMHI.

3.3 Transformada rápida de Fourier y espectro de potencia

Se parte de la base de que toda señal genérica, por compleja que sea se puede descomponer en una suma de funciones periódicas simples de distinta frecuencia. En definitiva, la Transformada de Fourier visualiza los coeficientes de las funciones sinusoidales que forman la señal original (Figura 18).

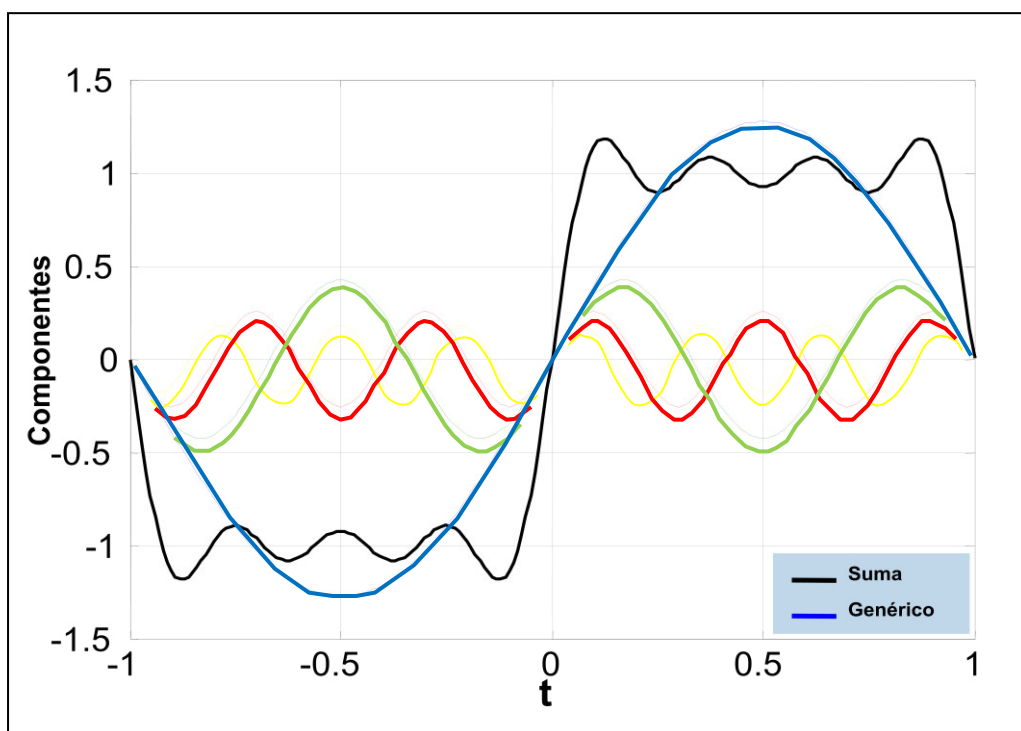


Figura 18. Una señal genérica se forma por una sumatoria de señales sinusoidales.

El método “clásico” de la transformada de Fourier (TDF) se basa en el cálculo directo, dada la serie real:

$$x_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \dots \dots (3)$$

de la transformada de Fourier (N = Número de datos)

$$x_k = \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot e^{-2\pi j k i / N} \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \dots \dots (4)$$

Entonces del espectro de potencia será:

$$h_k = \frac{2\Delta t}{N} x_k^2 = \frac{2\Delta t}{N} x_k \cdot x_k \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N+1}{2} \dots \dots (5)$$

Donde el intervalo de frecuencia es $(0, f_c = 1/2\Delta t)$ se dividió en $N/2$ partes de manera que el incremento en frecuencias es $\Delta f = 1/N\Delta t$ ó $\Delta f = 1/T$, ($T = N\Delta t$), siendo Δt el intervalo de muestreo. La mayor frecuencia que se puede obtener es $f = 1/2\Delta t$, llamada frecuencia de Nyquist. Aquí h_k es una estimación del espectro de potencia (Figura 20) de la muestra de la muestra en la frecuencia $f_k = k/N\Delta t = k/T$. Los espectros estimados son caracterizados por el ancho de banda y su variabilidad. El ancho de banda es una medida de cómo las frecuencias que están muy juntas puedan ser resueltas. También, el ancho de banda es el intervalo de frecuencias sobre la cual el espectro de potencia es promediada para obtener una estimación (Figura 19). La función promedio, para la estimación del espectro en el dominio de la frecuencia, es llamada la “ventana espectral”.

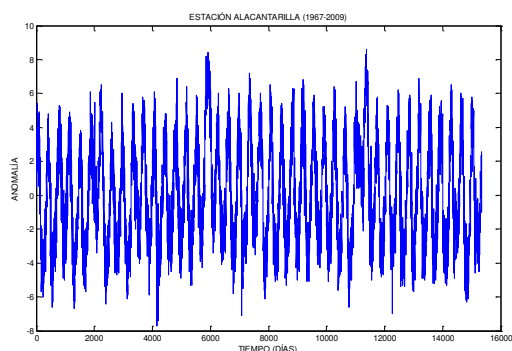


Figura 19. Serie de tiempo.

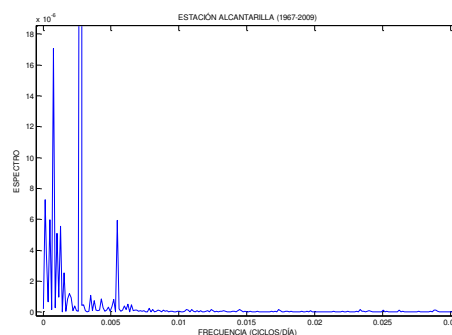


Figura 20. Espectro de potencia.

3.4 Descripción del área de estudio

Esta región es de relieve moderado en la que destacan sus terrazas marinas, los abanicos aluviales, las dunas y los depósitos de arena eólicas, alternadas con cerros que contribuyen la parte baja de los contrafuertes occidentales.

3.4.1 Distribución y diversidad de zonas de vida en Caral

Apreciando el mapa ecológico elaborado por el Sistema de Información Geográfico del Ministerio del Ambiente (SIGMINAM), cuya configuración es un Diagrama Bioclimático (Anexo F) que relaciona principalmente condiciones bioclimáticas (temperatura y precipitación), vegetación natural y altitud. Esta relación permite clasificar las posiciones climáticas de las zonas de vida en los

pisos basales de seis regiones latitudinales. De manera general se distingue 4 zonas de vida para la costa central del Perú (Figura 21), distribuidas en 2 franjas latitudinales: región latitudinal tropical y la región latitudinal subtropical. Asimismo, se señala que la nomenclatura ecológica de esta, le corresponde a la región subtropical y no a una región basal propia de su ubicación geográfica. Este notorio cambio es originado por los factores meteorológicos y oceanográficos que gobiernan el clima en el área de estudio.

La zona de vida de mayor extensión en la provincia de Barranca corresponde al desierto desecado (dd) y la de menor extensión corresponde al desierto superárido (ds). Se resalta que es irrelevante la extensión cuantificada de estas áreas ya que uno de los objetivos específicos es describir el comportamiento de la temperatura del territorio.

3.4.2 Descripción de las zonas de vida

a) Desierto Desecado Subtropical (dd-S)

➤ Ubicación

Corresponde a las planicies y partes bajas de los valles costeros como los valles de Huaral, Supe y Pativilca, comprende desde el nivel del mar hasta 600 msnm de altitud en donde se incluye el centro arqueológico de Caral. El relieve topográfico es plano y ligeramente ondulado, variando a abrupto en los cerros aislados.

En esta zona de vida la vegetación es muy escasa sin embargo las tierras son utilizadas para la agricultura mediante el riego.

- **Clima,** Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual mínima es de 17,0°C y la máxima es de 24,0°C, ubicándose en un área de humedad: desecado.

b) Desértico Perarido – Montano Bajo Subtropical (dp-MBS)

Abarca el área ubicada entre los 200 y 600 msnm de altitud y comprende elevaciones topográficas, ubicado entre cuencas.

c) Desierto Superárido – Subtropical (ds-S)

➤ **Ubicación**

Geográficamente abarca los llanos costeros y las estribaciones bajas de la vertiente occidental andina, entre los 600 y 1200 msnm de altitud. Las principales localidades situadas son: Las zonas altas de Pativilca y Barranca. Su conformación topográfica varía desde suaves planas hasta colinada, propia de las planicies de la llanura costera.

- **Clima,** Según el diagrama Bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual mínima es de 24,0°C, ubicándose en un área de humedad: superárido.

e) Desierto Perárido – Premontano Tropical (dp - PT)

Comprende las nacientes de la vertiente occidental andina y está ubicado entre 1200 y 2000 msnm de altitud.

f) Matorral Desértico – Montano bajo Tropical (md - MBT)

Comprende el sector de las lomas Costeras situado entre los 2000 y 3000 msnm de altitud. Esta región tiene un topo-clima muy localizado que se caracteriza por la presencia de nieblas al nivel del suelo, durante 8 y 9 meses del año (SENAMHI-2009). La humedad atmosférica y las “precipitaciones ocultas”, son suficientes para sostener más de 6 km² de bosque dispersos.

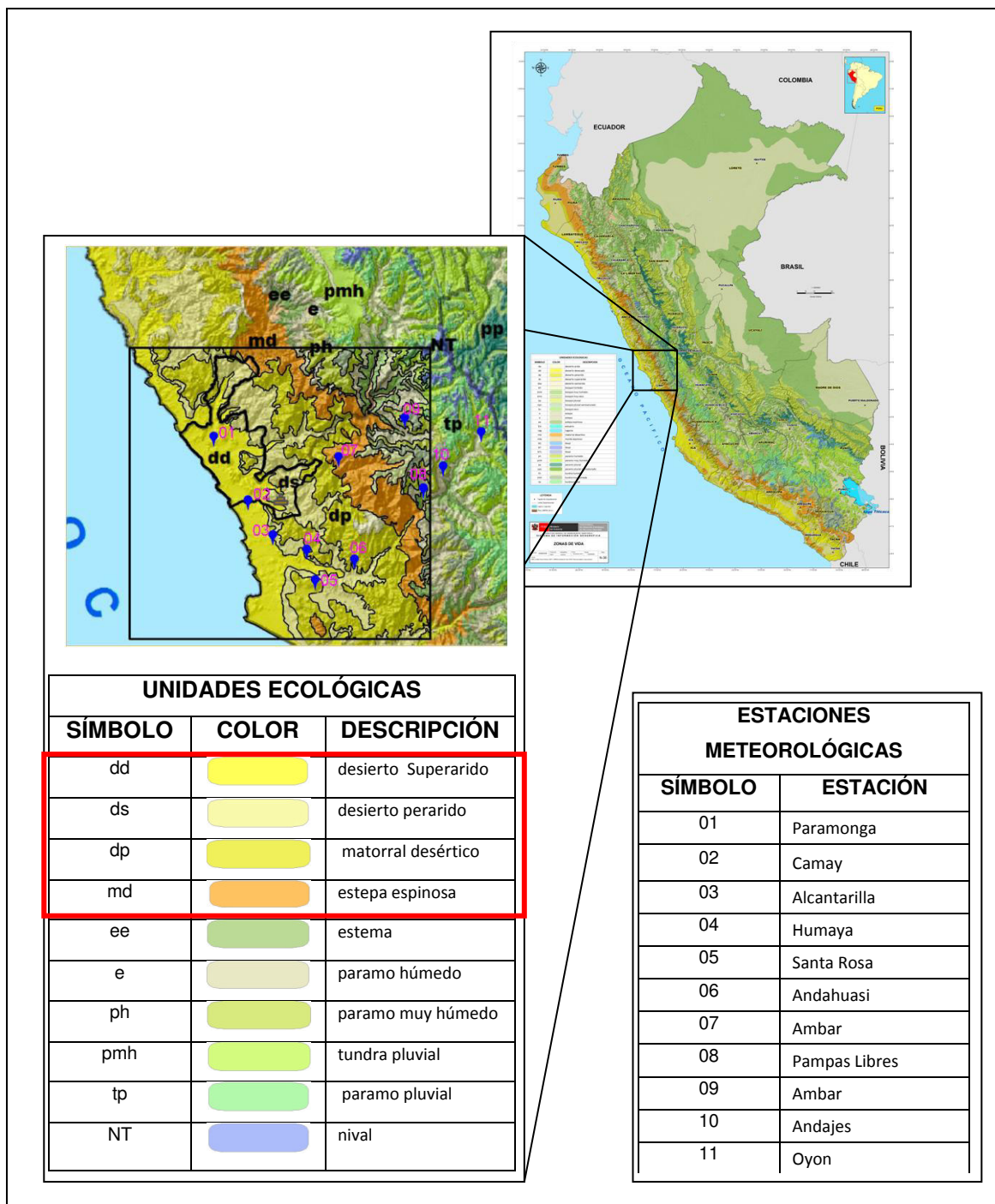


Figura 21. Descripción de las zonas de vida y la identificación de las cuatro unidades ecológicas para el área de estudio.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Temperatura máxima del aire

La temperatura máxima de la zona de estudio depende principalmente de la cobertura nubosa, albedo, pendiente y topografía de la superficie; asimismo, el movimiento del aire (viento débil o calma), cantidad de humedad en superficie y subsuperficial del suelo, procesos físicos de calor latente disponible para cambio de fase y disponibilidad de calor sensible. En la zona de estudio, en los meses de febrero y marzo ocurren las temperaturas más altas, meses en que el mar tiene los valores más altos de temperatura y mayor incidencia de los rayos solares, alcanzando el valor promedio 26,2°C en la estación de Paramonga que se encuentra cerca a la línea de costa.

Por otro lado, los valores mínimos ocurren durante la estación de invierno, el valor de 19,0°C indica temporadas frías que coinciden con el periodo en el cual la superficie del mar y la capa de mezcla atmosférica alcanzan los valores mínimos de temperatura y el cielo tiene la mayor cobertura nubosa (agosto) en Paramonga. En general, hay una disminución ligera de las temperaturas máximas de norte a sur, y un incremento de ésta desde la línea de costa hacia el este (tierra adentro). Las temperaturas extremas en las estaciones costeras de Barranca, a pesar de la pequeña extensión del área de estudio, se observan en la línea de costa en el efecto de calentamiento de la superficie rocosa sobre las temperaturas máximas principalmente en verano dado que éstas alcanzan valores próximos a 25,0°C, siendo las temperaturas de la superficie del mar menores a 20,0°C y durante el día y noche tienen temperaturas similares; en invierno debido a la cobertura nubosa permanente, el impacto de la superficie rocosa sobre las temperaturas es menor, así el rango diurno es de aproximadamente 4,0°C. El rango anual de la temperatura máxima (valor alto menos y el valor bajo), presenta entre 6,0 a 7,0°C en Paramonga.

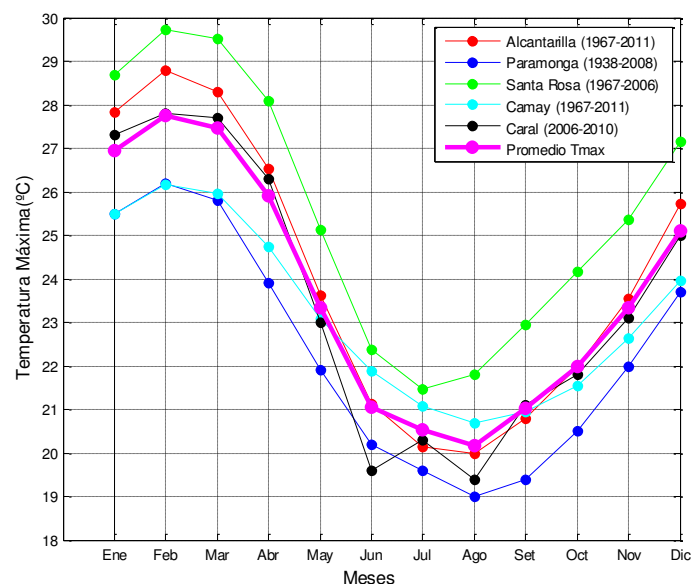


Figura 22. Variabilidad mensual de la temperatura máxima en la provincia de Barranca

En promedio, para el valle de Supe (Figura 22), las temperaturas máximas del aire presentan su menor valor durante agosto ($20,1^{\circ}\text{C}$) y mayor en febrero ($27,7^{\circ}\text{C}$), con otro pico secundario de valores altos en marzo ($27,0^{\circ}\text{C}$). Climatológicamente, observamos dos etapas en la serie muy marcadas: uno que corresponde al verano, cuando ingresa la mayor radiación solar y las temperaturas máximas del aire alcanzar los valores altos, y el otro que representa a la temporada de invierno que están asociados al periodo de máxima nubosidad y precipitación; las cuales forman una fuerte barrera para la incidencia de la energía solar, hacía la superficie; por lo que la temperatura del aire durante el día no es alta, sin embargo esta misma nubosidad durante la noche absorbe la energía emitida por la Tierra, haciendo que las noches sean menos frías.

La evolución mensual descrita anteriormente se presenta de manera similar en todas las zonas del valle de Supe, con algunas variaciones en las intensidades: frías en la estación Paramonga y más cálidas en la estación Santa Rosa.

En términos de variabilidad mensual podemos observar que en pleno invierno entre junio, julio y agosto (periodo de lluvias); el comportamiento de las temperaturas máximas del aire es más estable, a diferencia del verano que es muy variable.

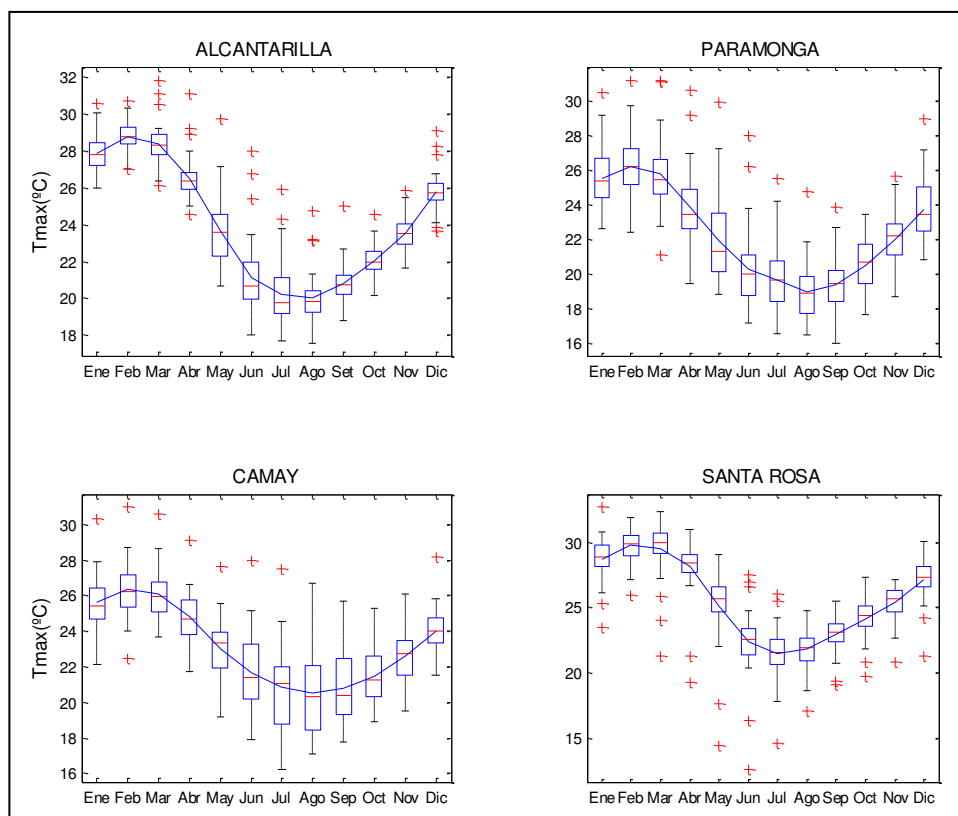


Figura 23. Variabilidad mensual de la temperatura máxima del aire en valle de Supe. Promedios mensuales históricos de las series de temperatura mensuales (línea azul) y gráfico de cajas para cada uno de los meses de las series (rectángulo define: cuartil superior, mediana (línea roja) y cuartil inferior; marcas '+' rojos son outliers y línea negra interlineada son proyecciones de los cuartiles).

En términos de variabilidad de valores extremos superiores a la media a nivel mensual existe una similitud de la misma en la estación Alcantarilla, Paramonga y Camay, mientras en la estación Santa Rosa se observa una variabilidad opuesta a las anteriores; es decir existe variabilidad de valores extremos inferiores a la media (Figura 23). Esto demuestra de que en niveles bajos de altitud (Alcantarilla, Camay y Paramonga) y niveles altos de altitud (Santa Rosa), existen diferentes interacciones durante todo el año.

4.2 Temperatura mínima del aire

Los máximos valores de las temperaturas mínimas se presentan durante la estación de verano, específicamente en el mes de marzo: 19,6°C (Figura 24) en Paramonga. Por otro lado, los valores mínimos se registran durante la estación de invierno, específicamente en el mes de agosto 14,6°C en Paramonga.

El rango anual promedio de la temperatura máxima del aire (temperatura máxima alta menos temperatura mínima baja) presenta aproximadamente 13,1°C en localidades cercanas al mar, pero en zonas alejadas, este rango puede llegar a los 15,0°C dependiendo del flujo a nivel local. Hay periodos de días o semanas en que la magnitud de las temperaturas mínimas es alterada positivamente por la llegada al litoral de corrientes oceánicas locales o regionales del norte, noroeste u oeste, las que traen aguas relativamente calientes. En otoño e invierno suele ocurrir también caídas fuertes de las temperaturas nocturnas, llegando sus valores próximos a 12,0°C, lo cual es ocasionado por un colapso de los vientos alisios o su disminución significativa, dando lugar a la brisa de tierra, la que a su vez advectiona (transporta) aire seco y frío desde el desierto hacia el litoral, este flujo es favorecido por la pendiente de las lomas incrustadas a lo largo del valle de Supe.

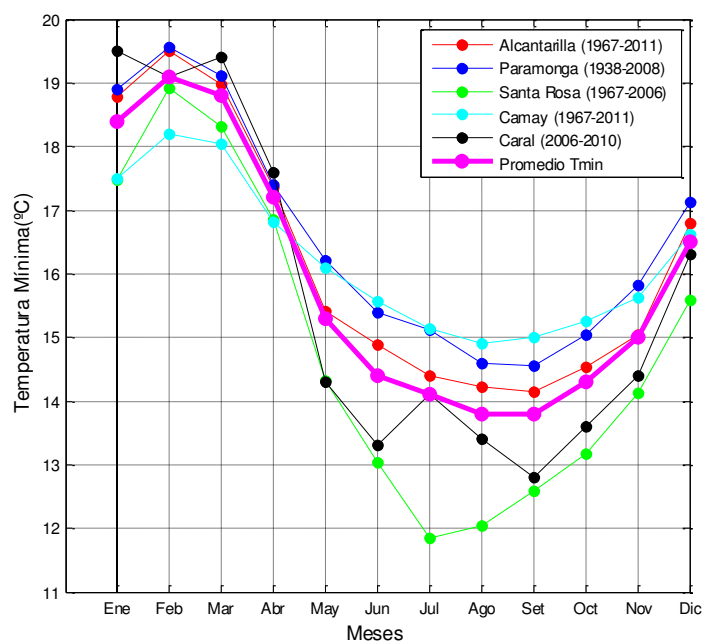


Figura 24. Variabilidad mensual de la temperatura mínima del aire.

La variación mensual de la temperatura mínima del aire en el valle de Supe está fuertemente asociada a la estacionalidad. Se observan dos periodos bien definidos durante el año: uno de mínimos valores, centrado en la estación de invierno (julio, agosto y septiembre), registrándose $13,8^{\circ}\text{C}$ en agosto; y otro de valores máximos en verano (febrero) de $19,1^{\circ}\text{C}$ (Figura 24).

Los valores altos de la temperatura mínima del aire se dan en Paramonga, siendo en agosto $14,8^{\circ}\text{C}$ y en febrero $19,5^{\circ}\text{C}$. Por el contrario en Santa Rosa se registraron promedios de temperaturas bajas durante los últimos 40 años, con un valor para agosto de $12,0^{\circ}\text{C}$.

La mayor variabilidad de las temperaturas mínimas del aire se da en los meses de invierno (julio-septiembre), época donde son más frecuente la nubosidad, y la menor variabilidad se da durante el verano, de enero a marzo (Figura 25).

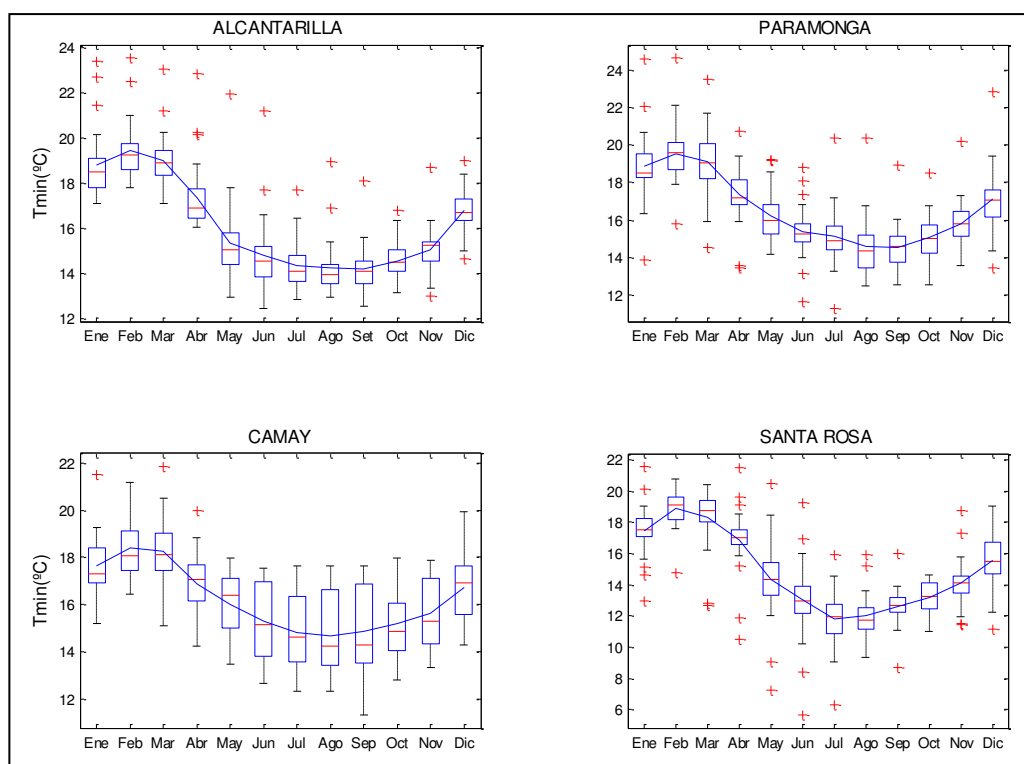


Figura 25. Variabilidad mensual de la temperatura del aire mínima en valle de Supe. Promedios mensuales históricos de las series de temperatura mensuales (línea azul) y gráfico de cajas para cada una de los meses de las series (rectángulo define: cuartil superior, mediana (línea roja) y cuartil inferior; marcas '+' rojos son outliers y línea negra interlineada son proyecciones de los cuartiles).



Figura 26. Cobertura nubosa para la zona de la provincia de Barranca – agosto
Fuente: SENAMHI-2013.

En temporadas de invierno existe la presencia de la humedad relativa que cubre la mayor parte de la costa central del Perú, esto permite una disminución rápida de la temperatura mínima diaria, sobre todo en las primeras horas del día (Figura 26).

4.3 Variabilidad anual de la Temperatura máxima del aire

Se identificaron a las cuatro estaciones meteorológicas con variables de temperatura máxima y mínima, para realizar la descripción de las variaciones anuales estandarizadas en sus respectivos periodos (Paramonga, Santa Rosa, Alcantarilla y Camay). A estos mismo se les añadió la serie suavizada, con un promedio corrido de 5 años (Figura 27). Lo resaltante en general de las cuatro estaciones meteorológicas es de que se aprecia un punto de quiebre a partir del año 1977 con valores predominantemente por debajo del promedio antes de 1976 y por encima del promedio después del mismo año. En Camay, se observa un periodo relativamente cálido desde 1998 hasta la actualidad, por el contrario, en las otras tres estaciones (Alcantarilla, Paramonga y Santa Rosa) se observa periodos fríos que corresponden al periodo La Niña (2000), con excepción de algunos años que en su mayoría coinciden con las temporadas de El Niño. En Alcantarilla se observa, a pesar de tener un periodo de años muy corto, las anomalías positivas (periodo cálido), en el rango desde 1982 hasta el 1998, de la misma forma en la estación de Paramonga. En cuanto a

Camay se dan solo anomalías negativas a excepción de las anomalías positivas que disminuyen para ese periodo.

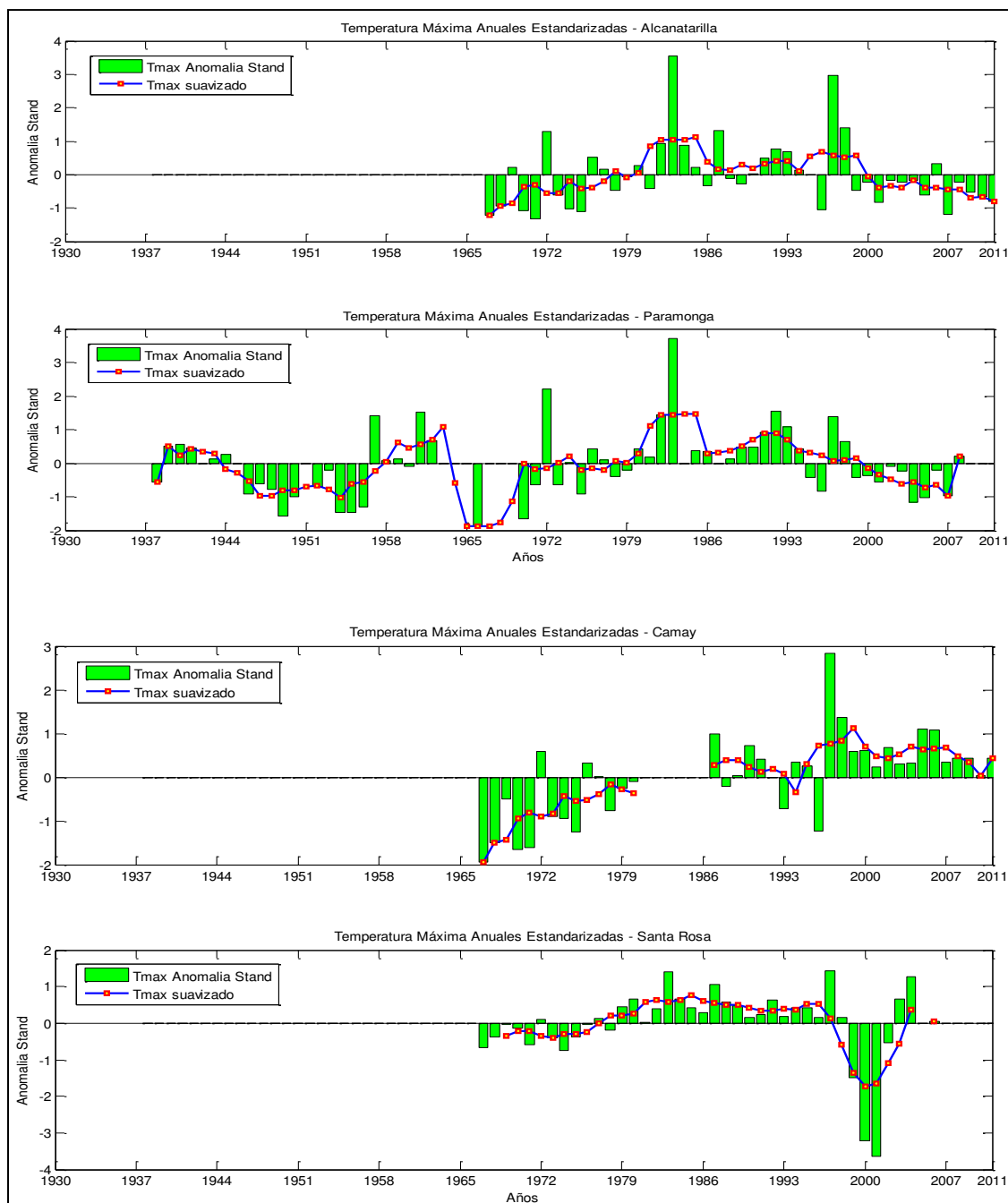


Figura 27. Variabilidad interanual de la temperatura del aire máxima. Estaciones de Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa respectivamente.

4.4 Variabilidad anual de la Temperatura del aire mínima

En la figura 28, se observa en las series, sobre todo al suavizarlas, que permiten identificar periodos de alternancia de varios años (alrededor de 10 a 11 años) con anomalías positivas y negativas, aunque no necesariamente coincidentes en el tiempo entre las diferentes zonas.

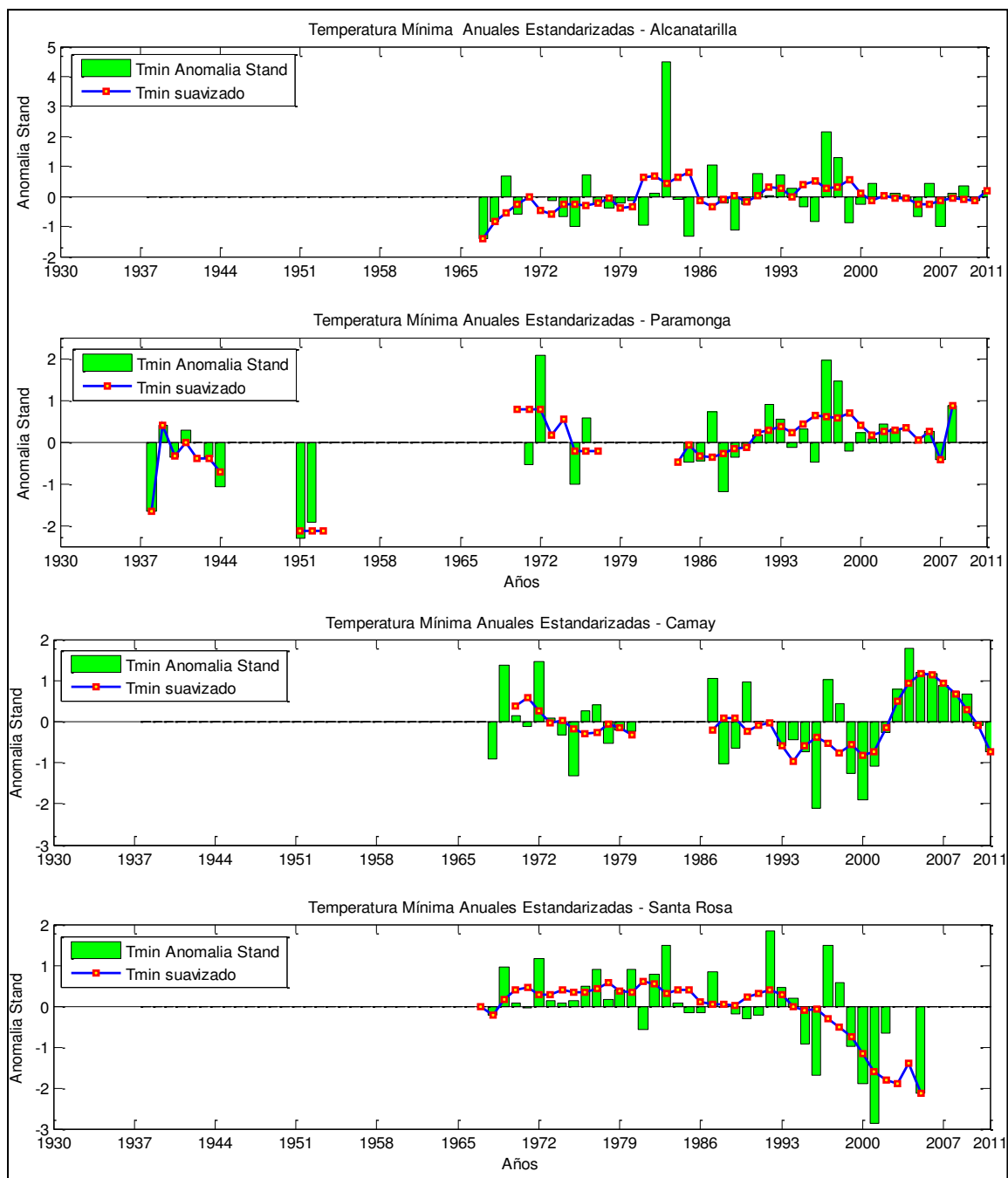


Figura 28. Variabilidad interanual de la temperatura del aire mínima. Estaciones de Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa respectivamente.

4.5 Humedad relativa

En el promedio mensual, la humedad relativa en las localidades de interés, por ser colindantes con la gran fuente de humedad que es el océano, siempre es alta (durante todo el año), favorecido por las direcciones predominantes del viento de componente sur y suroeste, por las estribaciones andinas de fuerte pendiente.

La fluctuación anual es muy pequeña (77% a 89%), presentando valores mensuales más altos a finales de la estación de invierno con valores de 86% (estación Camay) 89% (estación alcantarilla); en tanto que en primavera, otoño, y verano los valores mensuales promedio son ligeramente más bajos a 88% (Cuadro 5, 6 y 7). Sin embargo, en los días de invierno y otoño la humedad relativa durante las 24 horas del día es relativamente alta, lo cual es favorable para el desarrollo de neblinas y nubosidad estratiforme baja durante la noche y primeras horas de la mañana en las localidades costeras de Caral, Supe, Barranca y Paramonga, lugares cercanas al mar.

En primavera y verano, durante la noche la humedad relativa es alta, pero en el periodo diurno hacia el mediodía baja significativamente por el proceso de mezcla vertical. Los menores valores se deben al incremento de la velocidad del viento de componente este, el cual diluye la humedad superficial mediante los procesos de mezcla turbulenta en la dirección vertical principalmente; en las primeras horas del día cuando las temperaturas del aire son las más bajas y el viento está en calma, la humedad relativa adquiere los valores más altos.

Cuadro 5. Humedad relativa (%) media mensual: estación Camay

	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Desviación estándar	3,2	3,4	3,0	3,0	3,4	4,1	3,9	3,4	3,0	3,1	3,9	3,4
Media HR (%)	87	87	88	88	89	88	89	89	89	88	87	88

Cuadro 6. Humedad relativa (%) media mensual: estación Alcantarilla

	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Desviación estándar	3,15	3,4	2,92	2,31	3,12	3,4	2,82	2,74	2,6	2,41	2,33	2,73
Media HR (%)	78	77	79	81	84	85	85	86	85	83	81	80

Cuadro 7. Humedad relativa (%) media mensual: estación Paramonga

	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Desviación estándar	4,32	4,8	4,0	3,61	3,94	3,5	3,58	3,14	3,1	3,28	3,28	4,34
Media HR (%)	82	82	83	84	85	85	84	86	86	84	82	82

4.6 Precipitación en Caral

Las lluvias en un año normal son muy escasas y la superficie cuya estructura está representada por md – MBT, lo muestra de manera general; no obstante existe valores altos de humedad por debajo de la capa de inversión térmica, esta peculiaridad es originada por la presencia de una capa de aire caliente sobre una capa de aire fría húmeda; en ese sentido cuando el aire es menos denso limita drásticamente el ascenso del aire húmedo hasta niveles donde se encuentra la base de la inversión térmica y así formar predominantemente nubes bajas llamadas estratos. Estas nubes permiten la clasificación de la precipitación según la altitud; en ese sentido para niveles bajos o costeros identificamos a la estación Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa (Figura 29), niveles altos se identifica a la estación Andahuasi y Andajes (Figura 31). Esta clasificación permite diferenciar dos tipos de comportamiento anual, el primero con un comportamiento bianual (Figura 30) y el segundo con un comportamiento semianual, los dos con diferentes valores acumulados de precipitación. La precipitación en esta área de estudio se origina principalmente por dos procesos identificados, el primero por el ascenso de la humedad y el segundo por el trasvase, cuyo proceso físico se da mediante los vientos fuertes a niveles altos que sobrepasan los andes trayendo aire húmedo hacia la costa central, donde se calientan y descienden en forma de lluvia; estas lluvias ligeras muchas veces son causadas por perturbaciones frontales bien desarrolladas ubicados en el monzón Amazónico.

Estos procesos generan diferentes periodos de precipitación y en términos de magnitud para el comportamiento bianual comprende como primer periodo de lluvia a los meses de enero, febrero y marzo mientras para el segundo comprende a los meses de julio, agosto y septiembre con registros que superan los 0,5 mm/mes mientras para el comportamiento semianual comprende registros superiores a 80mm/mes en su periodo más lluvioso, en este último se observa de manera clara el ciclo hidrológico.

En Paramonga la lluvia promedio acumulada durante el año es 0,5 mm mientras en un mes registra valores inferiores a 0,3 mm (Figura 37); para este tipo de precipitación las pendientes y lomas juegan un rol fundamental.

De manera general se muestran los datos de precipitación total mensual para diferentes periodos del año. De la climatología (Figura 36), se puede inferir que las precipitaciones máximas se presentan entre los meses de junio a setiembre, asimismo, se puede inferir que entre los meses de diciembre y febrero se presenta otro pico, el cual es inducido por las precipitaciones correspondientes a los años en los que el evento El Niño se ha hecho presente.

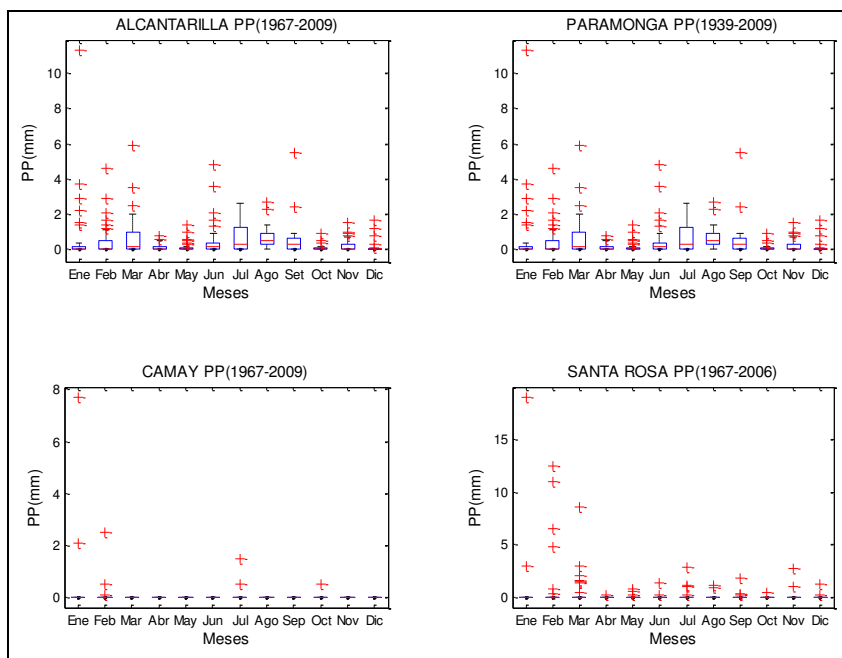


Figura 29. Diagrama de cajas para la precipitación con acumulación mensual.

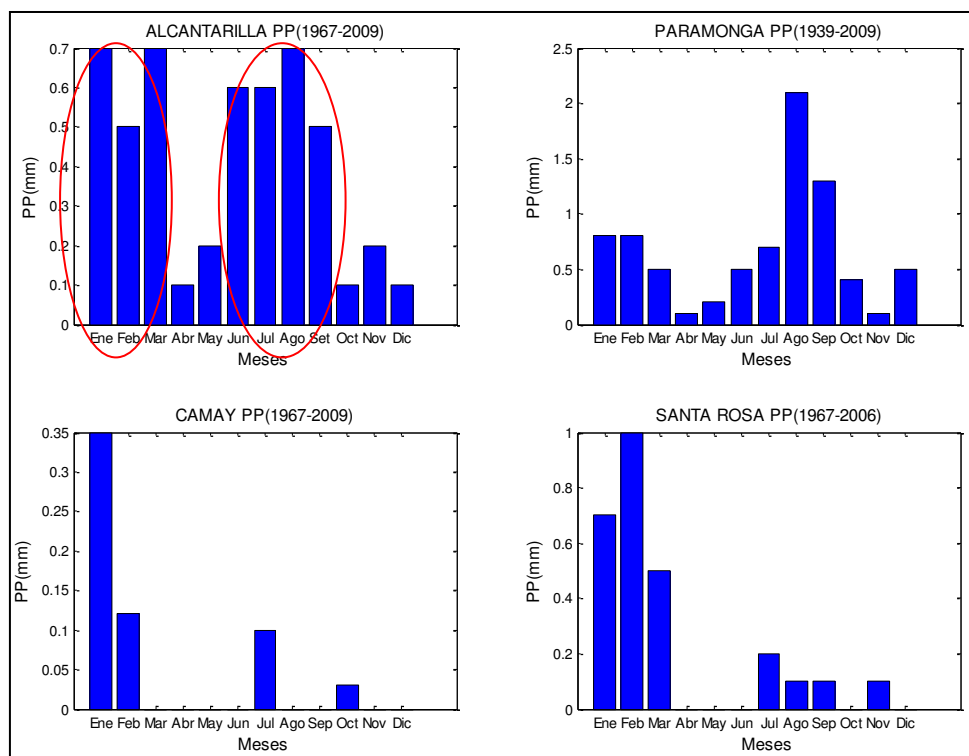


Figura 30. Histograma para la precipitación acumulada mensual.

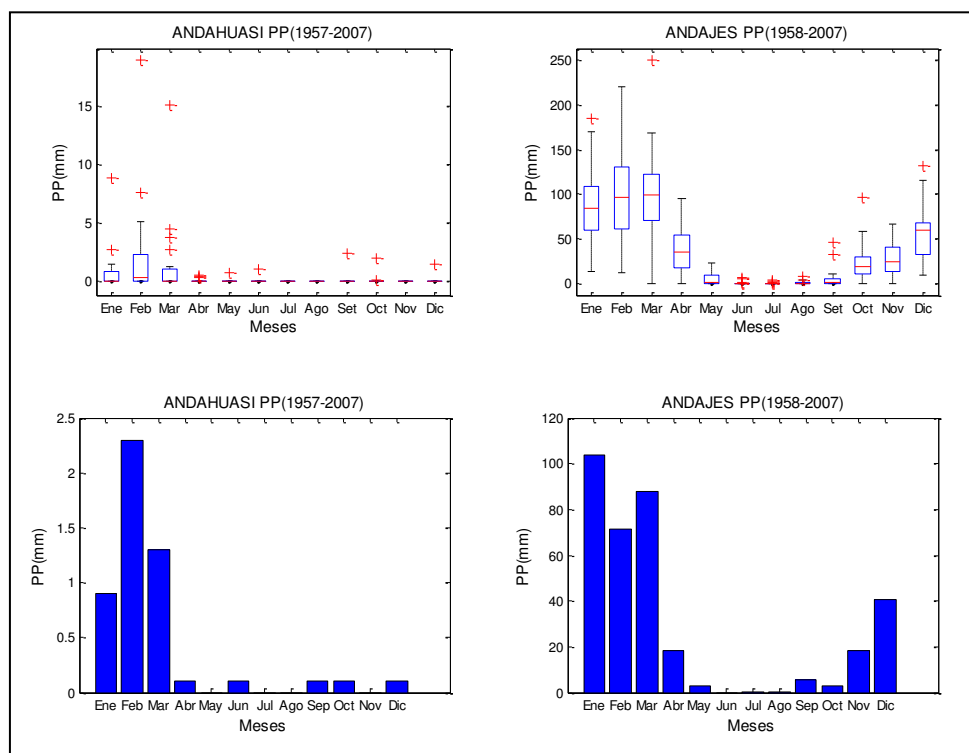


Figura 31. Precipitación promedio mensual.

4.7 Viento sinóptico en Caral

Los valores promedio mensuales varían dependiendo la estación del año, para verano es 1,5 m/s (Figura 32, A) mientras para invierno es 3,0 m/s (Figura 32, B), estos incrementos estacionales rigen bajo condiciones de fuerte calentamiento del desierto local, enfriamiento de la superficie del mar, incremento del gradiente de presión atmosférica a lo largo de la costa central y la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur de verano a invierno con magnitudes de 5,4 m/s a 7,0 m/s respectivamente (Figura 33, A y B). Este sistema de alta presión produce, condiciones estables por debajo de la inversión térmica de subsidencia, temperaturas superficiales bajas, vientos predominantes desde el sur y la intensificación de la cubierta de nube. Por esta característica que representa condiciones normales donde el aire descendente se calienta y pierde humedad, lo que hace poco probable la generación de lluvias en Caral, constituyendo así una de las zonas áridas con superficies del tipo desierto desecado.

Para los primeros meses de los años correspondientes a enero, febrero y marzo se observa (Figura 33, A) que hay un sistema de circulación proveniente del este que avanza hacia el oeste, es decir ingresa desde la cuenca amazónica, permitiendo el ingreso de aire frío hacia la costa central en pleno verano. Su proceso físico consiste en el ascenso de aire cálido y al encontrarse con los Andes orientales se enfrían a una altitud de 3000 msnm, iniciando el descenso hacia la costa central del Perú. En algunos casos se produce lloviznas y en otros se producen un calentamiento paulatino del aire (pérdida creciente de su humedad relativa) llegando a niveles superficiales con condiciones de extrema sequedad, tal como se observa en la clasificación del mapa de zonas de vida de la zona Caral, mencionado en el capítulo III.

Por último el acoplamiento de estos sistemas climáticos en verano (Figura 33, A) asegura gran actividad convectiva (transferencia de energía térmica mediante el transporte de materia) y en invierno debido a la intensificación del anticiclón del pacífico sur que genera una convergencia direccional del jet y flujo tierra adentro, permitiendo el bloqueo de sistemas frontales y la acumulación de humedad.

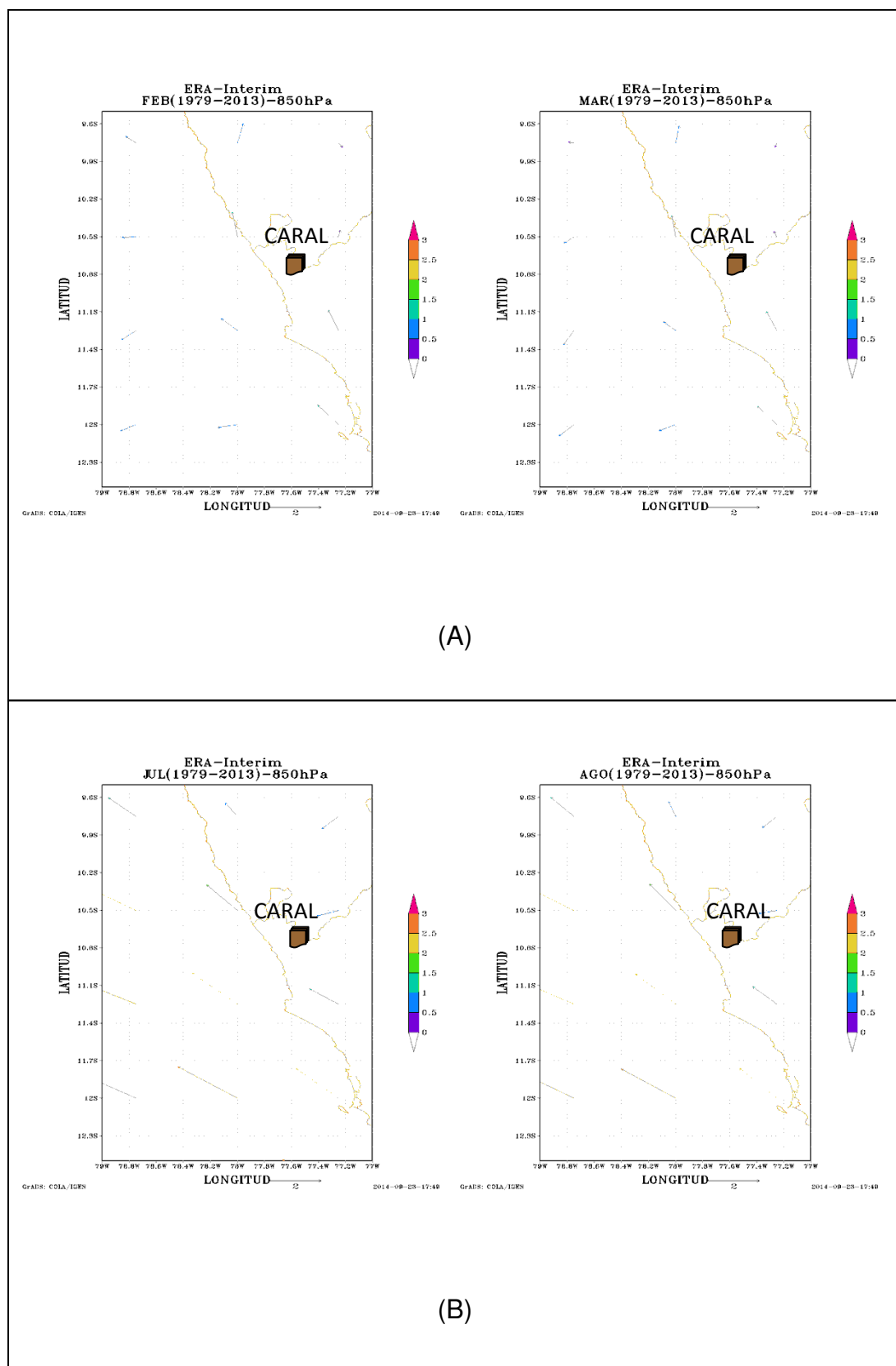


Figura 32. Datos de Reanálisis Era-Interim: (A) Viento costero de verano, (B) Viento costero de invierno.

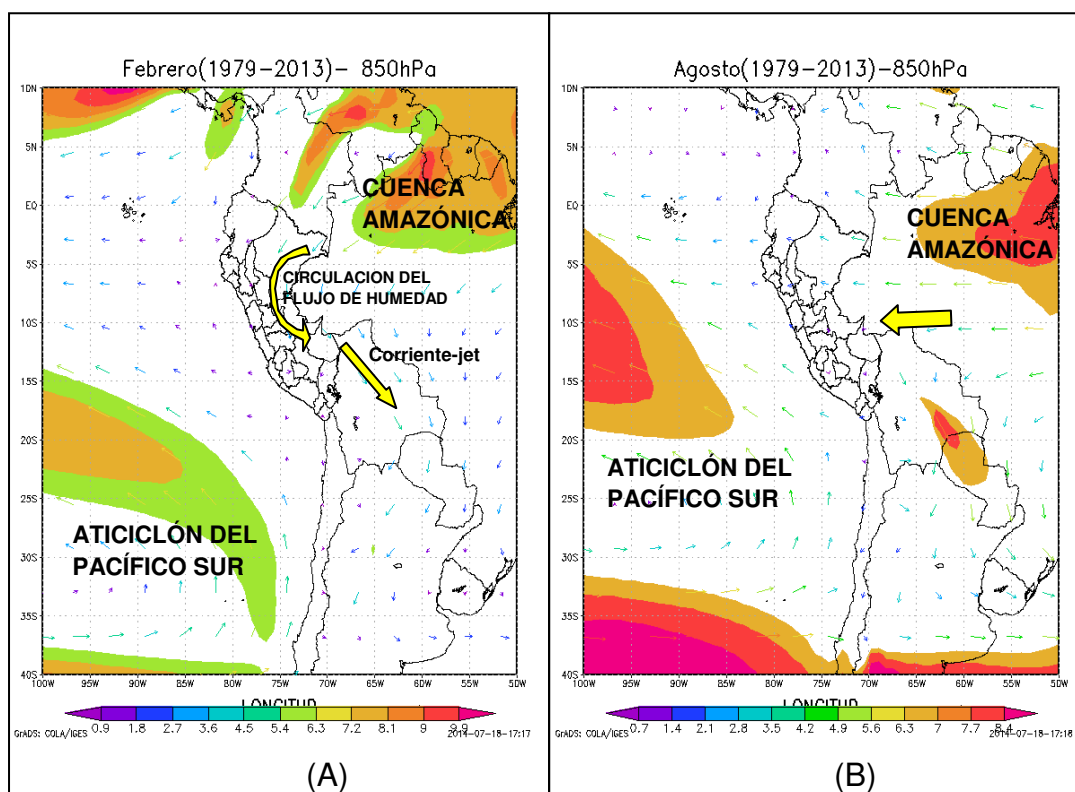


Figura 33. Datos de Reanálisis Era Interim: (A) Comportamiento del Anticiclón del Pacífico sur para verano con la influencia de la cuenca amazónica (flecha amarilla) y (B) para invierno. Área coloreada mayor a 6 m/s.

En los niveles altos de la tropósfera sobre Sudamérica se observa (Figura 34, A y B) una circulación anticiclónica, conocida como la Alta de Bolivia. Mediante este sistema converger los vientos, produciendo inestabilidad atmosférica y la humedad necesaria para la generación de lluvias, sobre todo en verano para los meses de enero, febrero y marzo donde el centro del sistema está bien marcado en la latitud 10S y longitud 65W (Figura 34, A) y que diverge para los otros meses del año (Figura 34, B), según la climatología que comprende los años de 1979 al 2013, para más detalle revisar los anexos B y C.

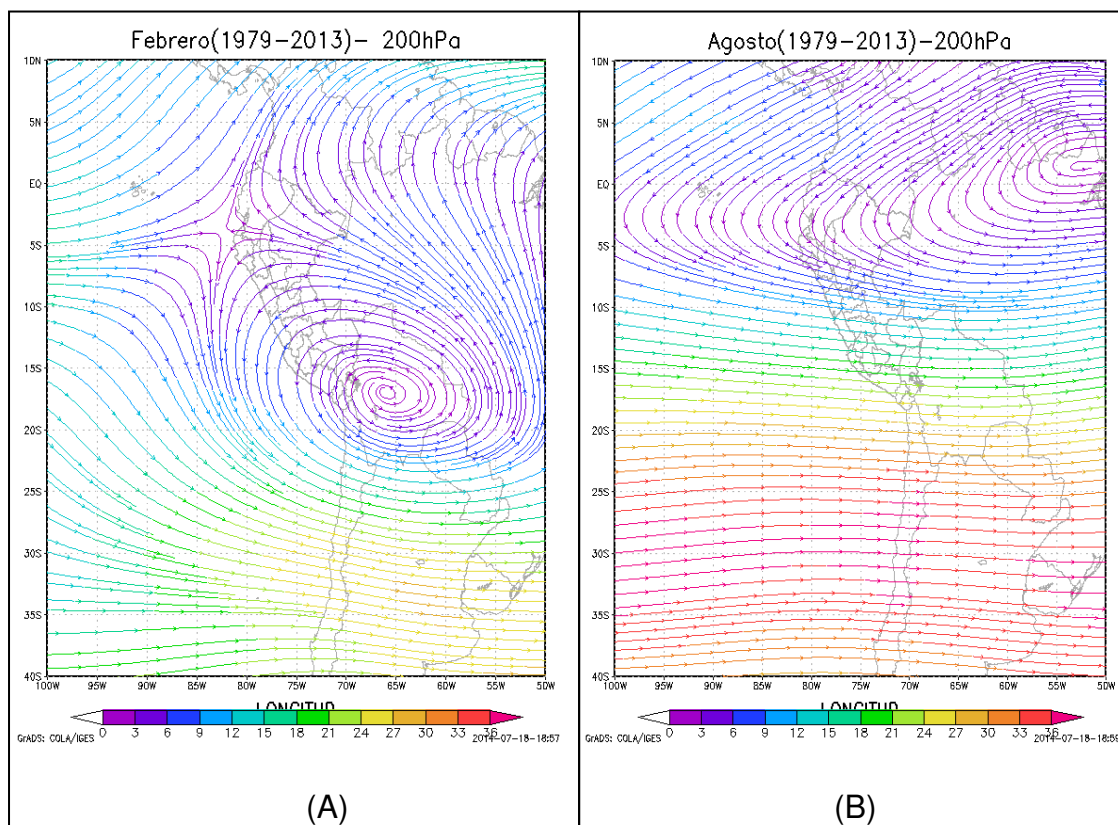


Figura 34. Datos de Era Interim: (A) Climatología de la alta de Bolivia para verano y (B) para invierno.

4.8 Niveles sinópticos de viento

A nivel local y sinóptico en la estación de Camay en horas de la mañana se identifica valores en magnitud de viento 2,5 m/s y dirección noreste, para el medio día 2,9 m/s con variaciones entre noreste y sureste y en la noche con 2,5 m/s también con variaciones entre noreste y sureste. A nivel estacional y anual no se observa cambios bruscos y mantiene la dirección noreste (Figura 35). El mismo análisis se realiza para la estación alcantarilla donde se observa las mayores perturbaciones en dirección y magnitud sobre todo en horas de la mañana cuando la temperatura mínima se muestra más pronunciada, estabilizándose para las siguientes horas del día. A nivel estacional se observa la dirección predominante de sureste con magnitudes que oscilan entre 4,5 m/s y 5,5 m/s para verano y para el invierno registros menores a 4,5 m/s. Como se indica en las dos estaciones del año registran valores altos en magnitud, en verano este incremento obedece a la presencia de brisas a nivel costero, mientras para invierno la influencia del anticiclón permite este incremento; es

decir durante todo el año existe la presencia de vientos fuertes que generan variabilidad zonal (Figura 36). La estación de Paramonga nos muestra un comportamiento de viento diferente a las anteriores, con magnitudes para verano menores a 2,8 m/s y dirección predominante del norte y noreste, para invierno mantiene la misma dirección norte y noreste pero con magnitudes de 3,8 m/s. Este comportamiento sinóptico de cambios ligeros en magnitud y predominancia de la dirección a nivel anual nos indica que existe un flujo del norte contrario a los vientos alisios registrados en la estación de alcantarilla que permite el incremento del viento a lo largo del valle de supe llegando al centro arqueológico de Caral (Figura 37).

Las estaciones del PEACS tienen un registro de periodos cortos y la información que se muestra en esta tesis son referenciales, en ese sentido para la estación de Caral se trabaja para dos años de registro diario 2006 y 2007. El comportamiento del viento a nivel estacional a lo largo de estos dos años es muy variable; para el año 2007 (Figura 38) durante la estación de verano registra vientos con dirección noreste, sureste y suroeste con magnitud de 4,0 m/s y 6,0 m/s mientras para invierno es de noreste y principalmente de sureste con magnitudes de 4,0 m/s y 5,0 m/s, es decir para las dos estaciones del año registra vientos fuertes con dirección predominante sureste. Un caso contrario en términos de dirección ocurre en el año 2006 (Figura 39), con registros de noroeste y suroeste pero con los mismos valores en magnitud a lo largo de todo el año. El análisis mejoraría para una mayor densidad de datos, sin embargo se esperaba que efectivamente en esta estación se detecten información muy variable. El mismo procedimiento se realiza para la estación de Áspero ubicado en Supe durante los años 2010 y verano del 2011 (Figura 40), aquí nos describe un comportamiento de viento similar a la estación Alcantarilla con vientos cuya dirección predominante es sur y sureste, con magnitud de 4,0 m/s y 5,0 m/s. Este comportamiento corresponde a los vientos alisios que están presentes durante todo el año variando en intensidad según la estación del año. Un caso similar se infiere de la estación de Vichama en Vegueta (Figura 41), los vientos predominantes son del suroeste con valores en magnitud iguales.

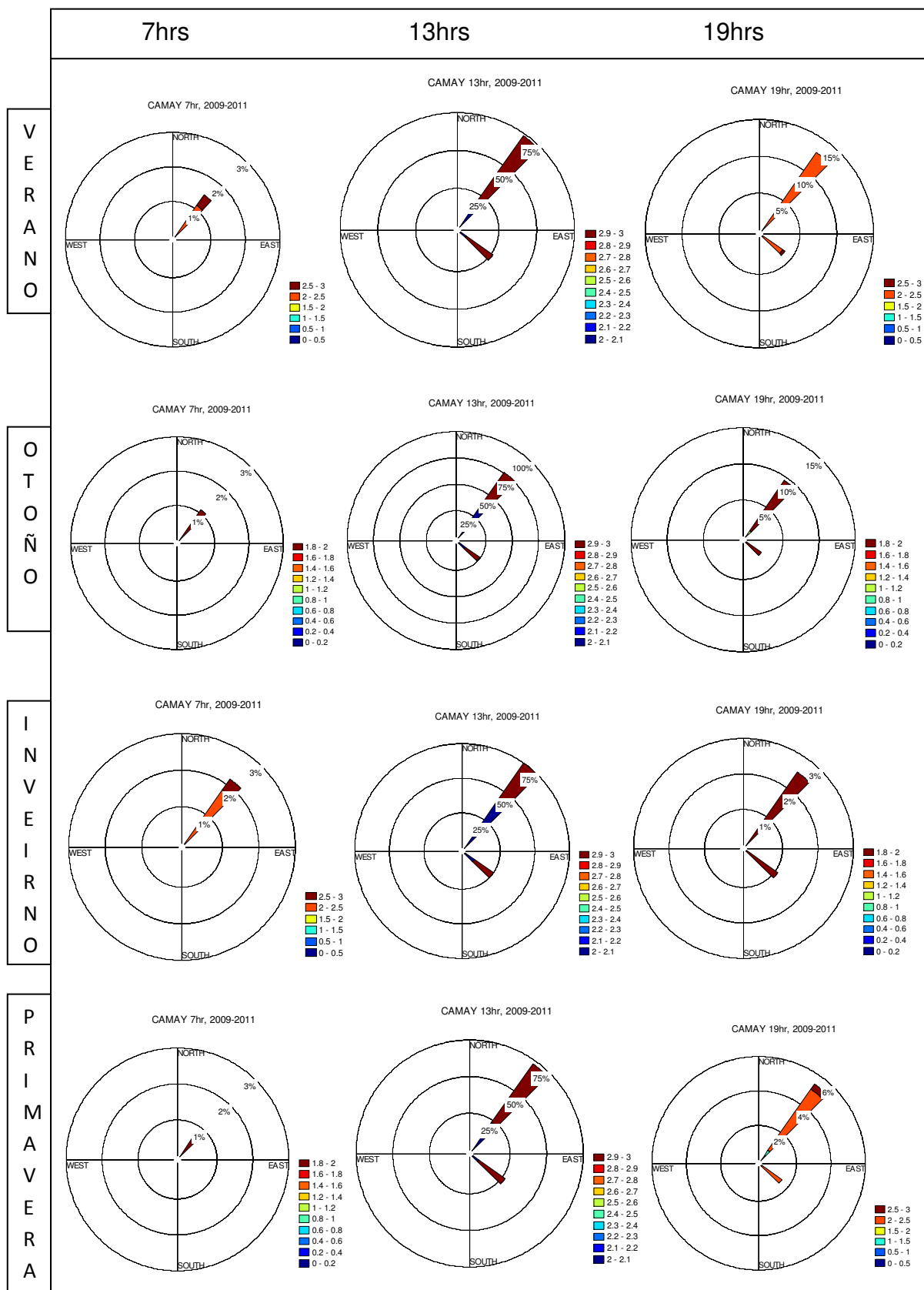


Figura 35. Rosa de viento (m/s) estacional para las horas sinópticas en la estación de Camay.

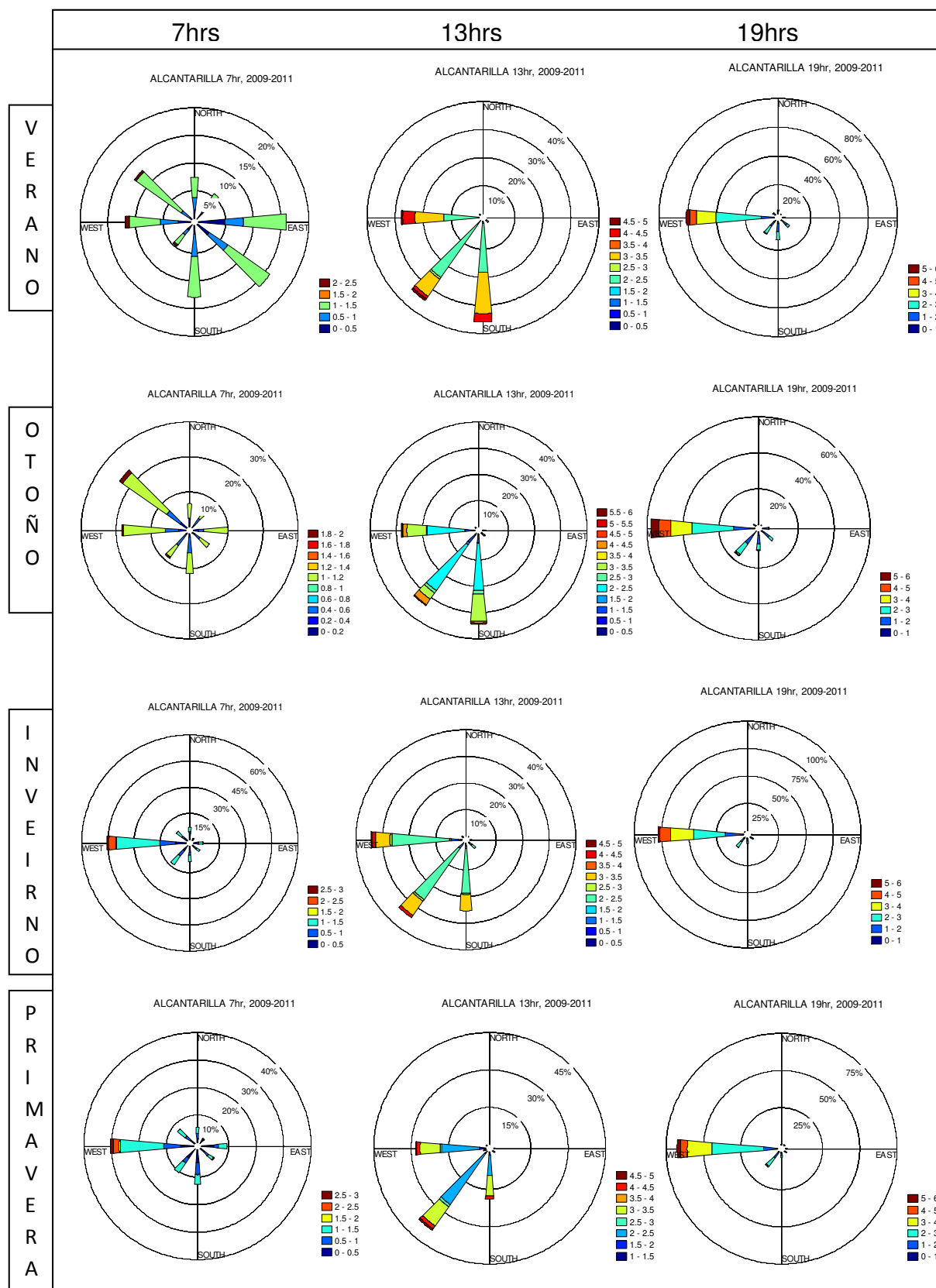


Figura 36. Rosa de viento (m/s) estacional para las horas sinópticas en la estación de Alcantarilla.

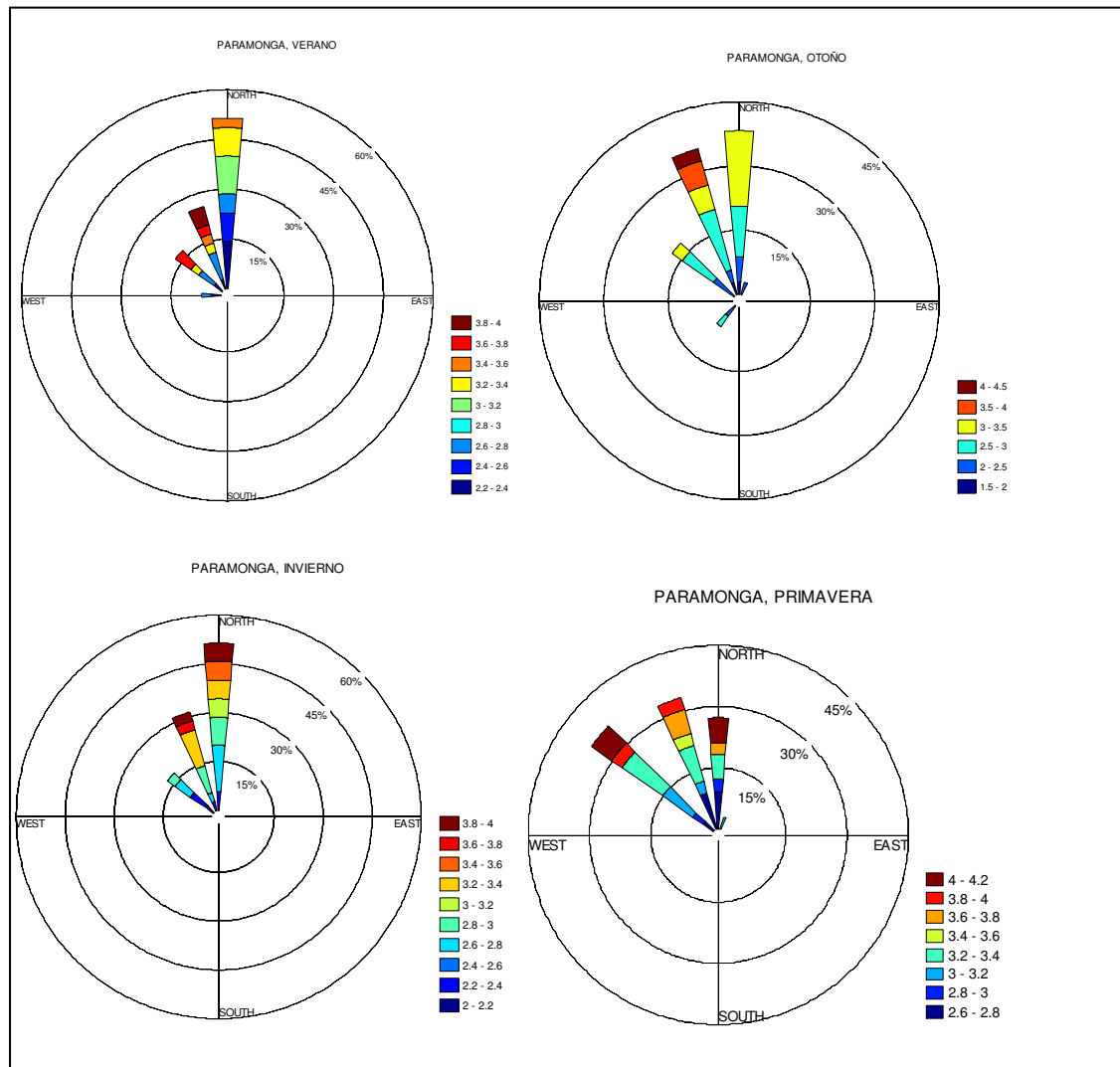


Figura 37. Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Paramonga.

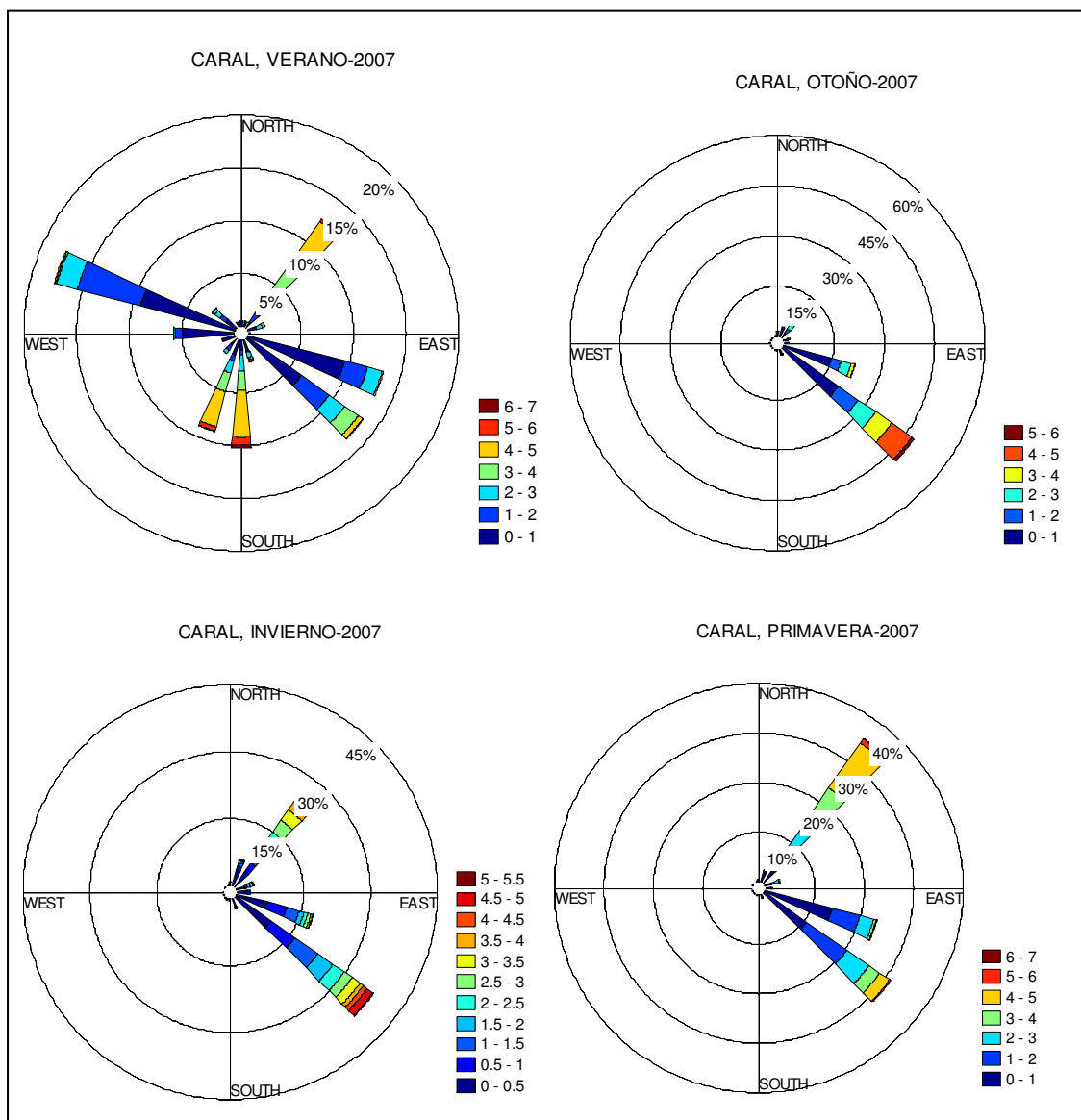


Figura 38. Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Caral 2007.

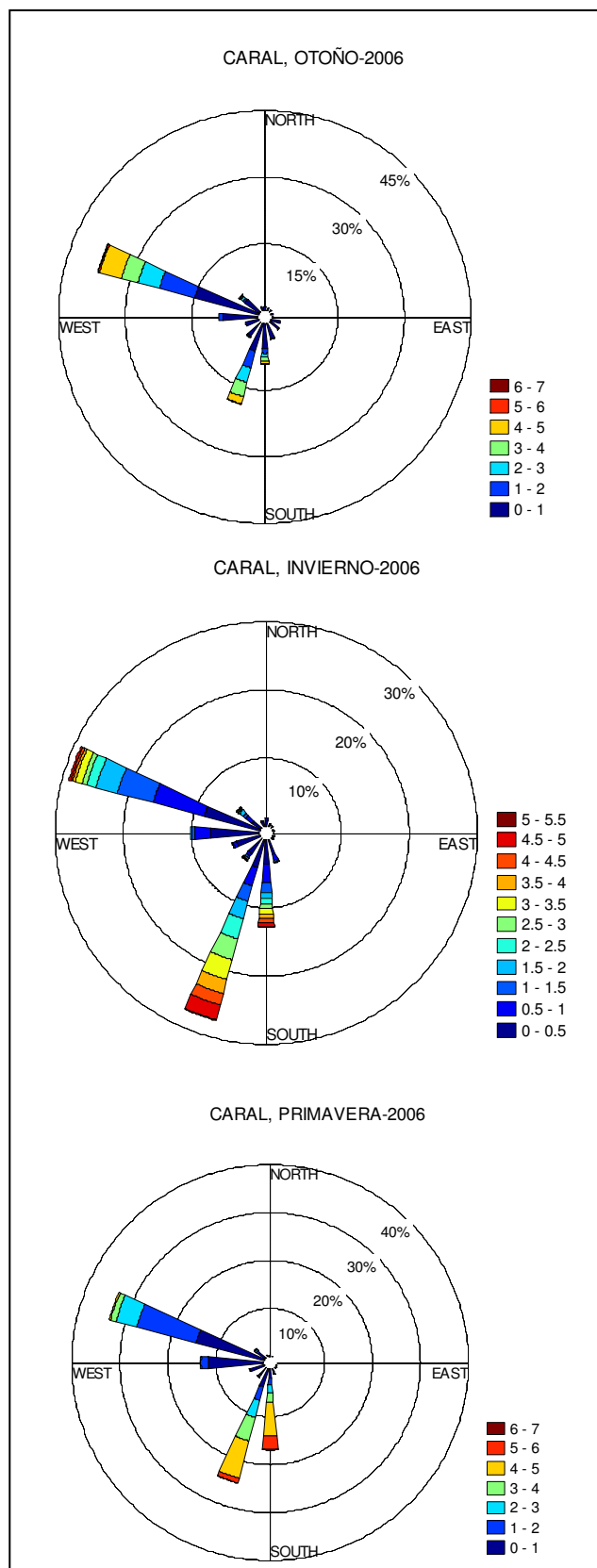


Figura 39. Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Caral 2008.

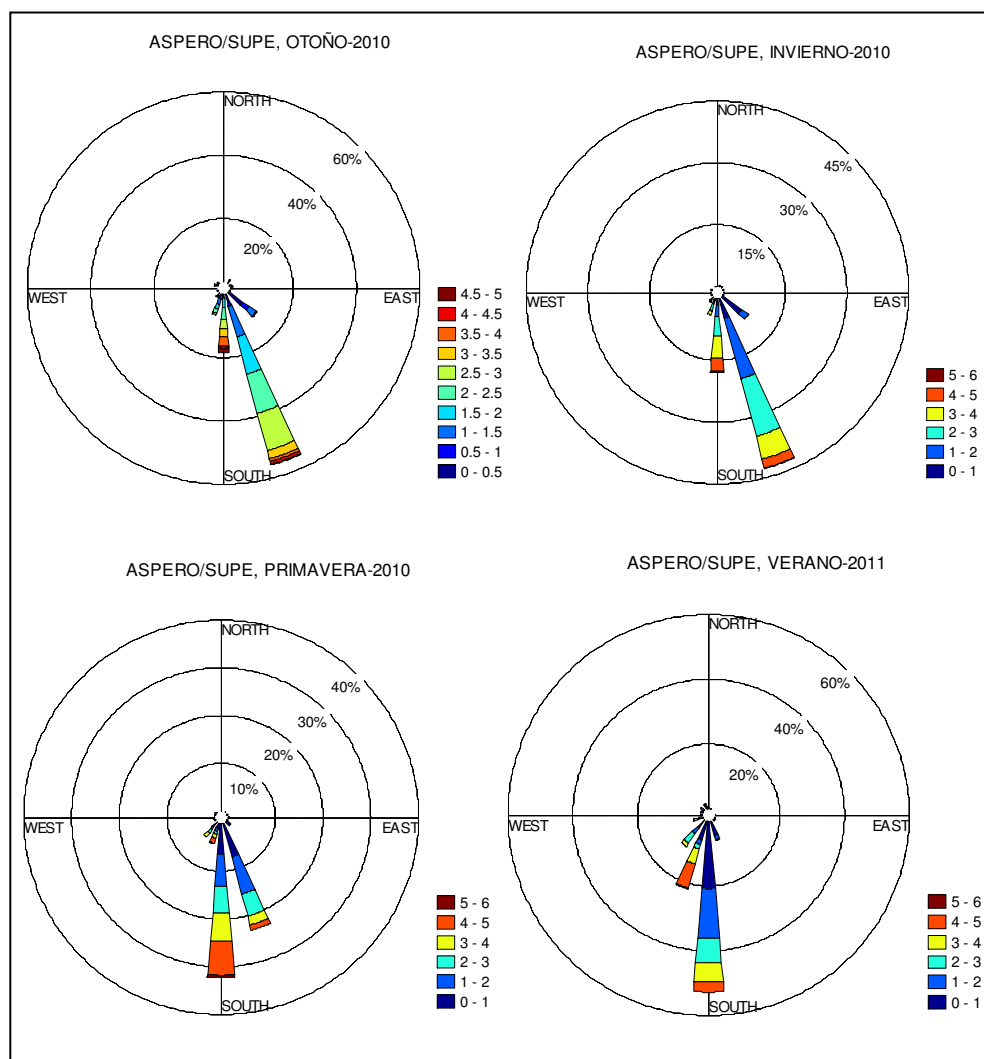


Figura 40. Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Áspero/Supe 2010-2011.

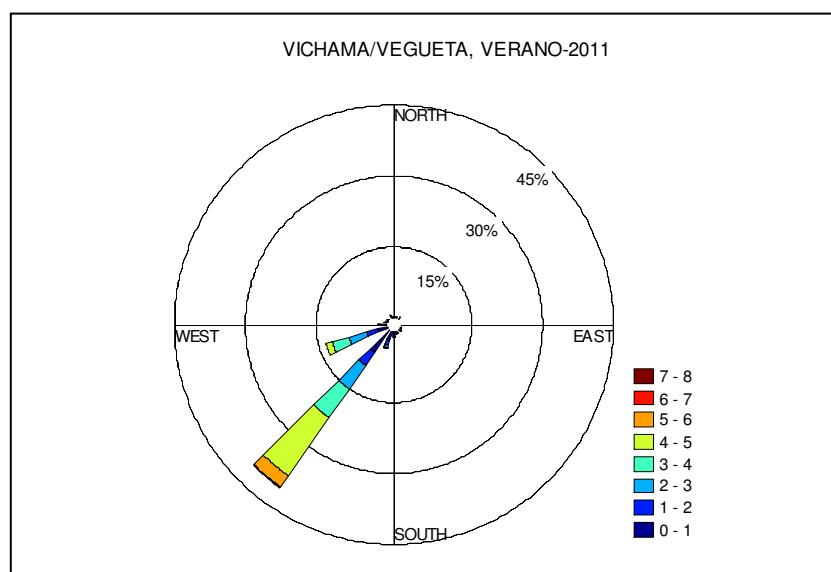


Figura 41. Rosa de viento (m/s) estacional para la estación de Vichama 2011-verano.

A nivel general se describe los procesos de circulación en niveles superficiales donde E_i representa la ubicación de cada estación meteorológica y las flechas de color negro indican la dirección predominante del viento (Figura 42). La rosa de viento describe el promedio de las 6 estaciones mostradas en esta imagen, donde prevalece la dirección suroeste con magnitudes de 5,5 m/s que se considera como viento fuerte.

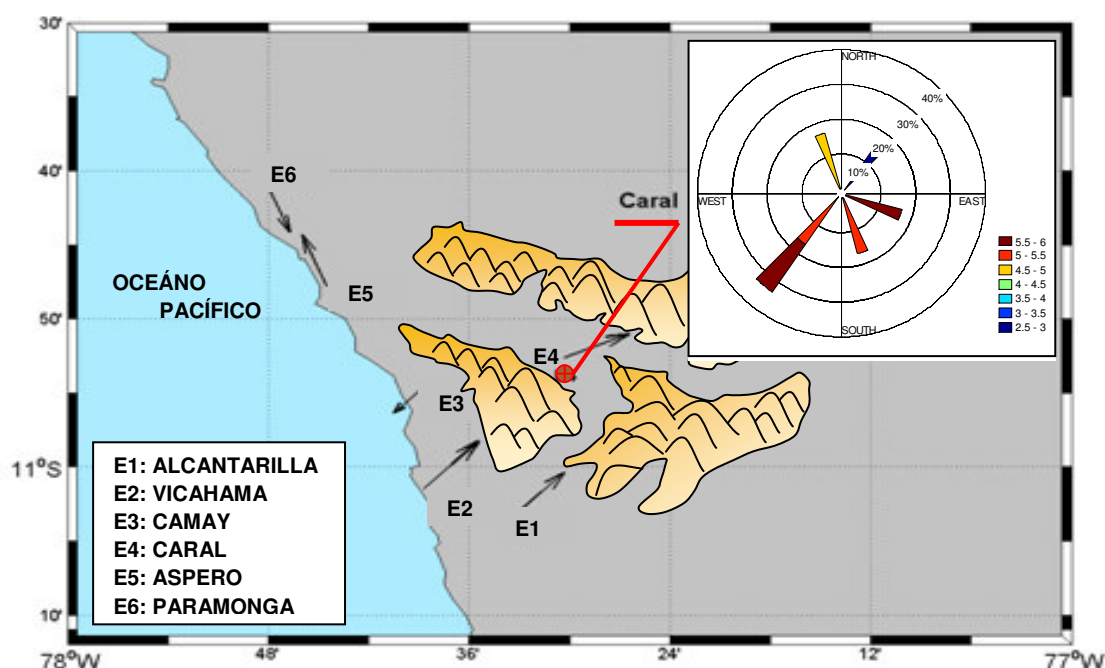


Figura 42. Patrón de circulación local en Caral. Viento en m/s.

Fuente: elaboración propia.

4.9 Años extremos, cálidos y fríos

Utilizando los valores anuales estandarizados (Figura 27, 28), se identifica para cada serie, los años extremos relativos a sus periodos y se resume en la Cuadro 8. Se infiere que un buen número de años con temperaturas extremadamente cálidas son registrados a lo largo de la costa central y son denominados como años con ocurrencias de eventos El Niño. Para corroborar esta información se comparó con el registro de la NOAA, donde se identifica años de coincidencia de intensidad extraordinario (1982-83, 1997-98), o entre fuertes y moderados como fueron 1992, 2002, 1987 y 1958. Además, años extremadamente fríos como La Niña durante el periodo 1968, 1991, 1971, 1974, 1975, 1999, 2000. En ese sentido se clasifica los años cálidos y fríos

mediante la temperatura de aire máxima y mínima anual, en la estación de Alcantarilla, Camay, Paramonga y Santa Rosa.

Cuadro 8. Años cálidos y fríos en Caral.

Estación	Temp. máxima anuales		Temp. mínima anuales	
	+Cálido	+Fríos	+Cálidos	+Fríos
Alcantarilla 1967-2011	1982	1971	1983	1967
	1997	1967	1997	1985
	1972	2007	1998	1989
Paramonga 1935-2009	1983	1966	1972	1961
	1972	1949	1997	1938
	1961	1954	1998	1970
Camay 1967-2008	1997	1971	2004	1996
	1998	1968	1972	2000
	2005	1975	1969	1995
Santa Rosa 1967-2009	1997	1970	1992	2001
	1983	1968	1997	2005
	1987	1996	1983	1996

Fuente: elaboración propia.

4.10 Índices climáticos

Los índices climáticos nos ayudan a describir las tendencias de cada variable meteorológica con sus respectivos incrementos por cada 10 años, se analizó 2 índices climáticos correspondientes a la temperatura máxima (TNn) y mínima (TXx) que fueron calculados mediante el Rclimindex, para las cuatro estaciones del periodo más largo y continuo.

En las estaciones de Alcantarilla, Camay y Paramonga se observa tendencias positivas (puntos rojos) y en Santa Rosa tendencias negativas (puntos azules) similares para la temperatura máxima y mínima, la diferencia

radica en términos de cuantificación; para tendencias positivas es $0,0021^{\circ}\text{C}$ y tendencias negativas es $0,0004^{\circ}\text{C}$ por cada 10 años en promedio (Figura 43).

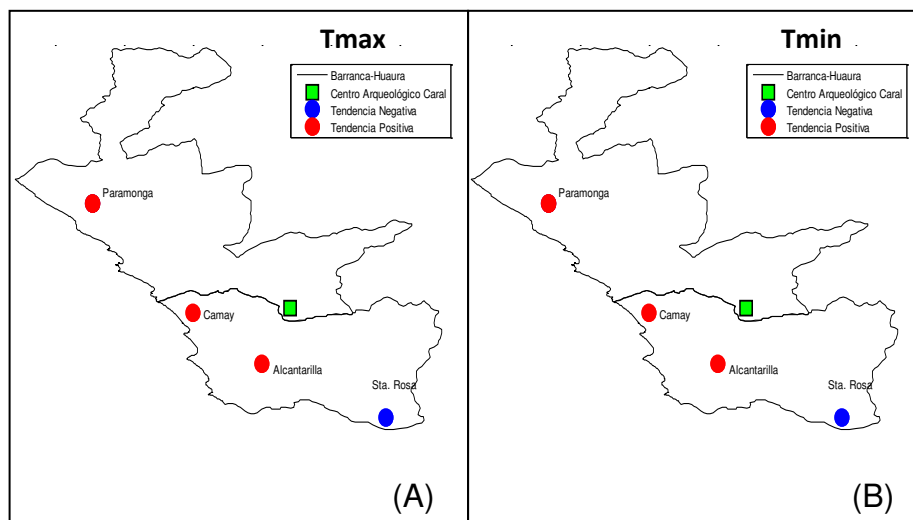


Figura 43. Tendencias de la temperatura del aire: (A) Temperatura máxima, (B) Temperatura mínima. **Fuente:** elaboración propia.

4.11 Relación con variables climáticas globales y otras asociadas

4.11.1 Correlación de temperaturas

Se realizó un proceso de correlación y finalmente se graficó para determinar cuál de las variables globales presenta mayor similitud con las series de la estación meteorológica y encontrar su aportación en términos de variabilidad climática.

Se encontró que las temperaturas del aire máximas, de las cuatro estaciones (Alcantarilla, Paramonga, Camay y Santa Rosa) presentan de regular a muy buena correlación con diferentes variables globales, siendo las más alta con las regiones de tipos Niño 1+2 y la más baja con los índices del océano atlántico.

Los coeficientes de correlación en la estación de Alcantarilla (1967-2009) para la temperatura máxima del aire con Niño 1+2 fueron del orden 0,9 (Cuadro 9) y para la temperatura mínima del aire de 0,25 (Cuadro 10), para el mismo período. Adicionalmente estos cuadros muestran que para las demás estaciones hay una regular a buena correlación con la temperatura máxima del aire a lo largo de su periodo, mientras en la temperatura mínima su influencia es baja y menor a 0.49 (Cuadro 10). En este mismo, las zonas coloreadas de

nararanja superan la correlación de 0,5, el cual nos indican que hay una influencia directa hacia la temperatura máxima anual.

Cuadro 9. Coeficiente de correlación de los índices globales y la temperatura del aire máxima.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TMAX				
ALTURA	120msnm	20msnm	380msnm	59msnm
IND. GLOB/ESTACION	ALCANTARILLA	PARAMONGA	SANTA ROSA	CAMAY
NIÑO1+2	0,90	0,74	0,40	0,68
NIÑO3	0,78	0,67	0,43	0,64
NIÑO3+4	0,62	0,57	0,40	0,51
NIÑO4	0,41	0,40	0,32	0,41
PDO	0,57	0,46	0,53	0,42
NAO	0,12	0,31	0,01	0,05
SOI	-0,66	-0,57	-0,42	-0,51
TNA	0,12	-0,14	-0,04	0,36
TSA	-0,05	0,02	-0,06	0,26
TSA-TNA	-0,13	0,11	-0,01	-0,10
NIÑO1+2-NIÑO3+4	0,85	0,71	0,43	0,64

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 10. Coeficiente de correlación de los índices globales y la temperatura del aire mínima.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TMIN				
ALTURA	120msnm	20msnm	380msnm	59msnm
IND. GLOB/ESTACION	ALCANTARILLA	PARAMONGA	SANTA ROSA	CAMAY
NIÑO12	0,25	0,16	-0,15	0,19
NIÑO3	0,20	0,17	-0,10	0,05
NIÑO34	0,27	0,21	-0,05	-0,11
NIÑO4	0,26	0,31	-0,09	-0,27
PDO	0,49	0,41	-0,18	-0,13
NAO	0,32	-0,03	0,06	-0,28
SOI	-0,34	-0,06	0,15	0,19
TNA	-0,05	-0,06	-0,37	0,33
TSA	-0,24	0,30	-0,33	0,00
TSA-TNA	-0,14	0,27	0,03	-0,25
NIÑO12-NIÑO34	0,27	0,19	-0,12	0,07

Fuente: elaboración propia.

Se identifica a la zona de El Niño 1+2 Se efectuó un análisis espectral de la temperatura promedio a nivel diario desde 1967 hasta 2009 (N=7670), a la serie se le quito la media a fin de aplicar el métodos de análisis espectral a todas las componentes. El método de análisis espectral a utilizar es la

transformada rápida de Fourier. Las frecuencias de los picos espectrales a ser evidenciadas a través del método de análisis están asociadas a fenómenos físicos conocidos o susceptibles de explicación posterior (Figura 44).

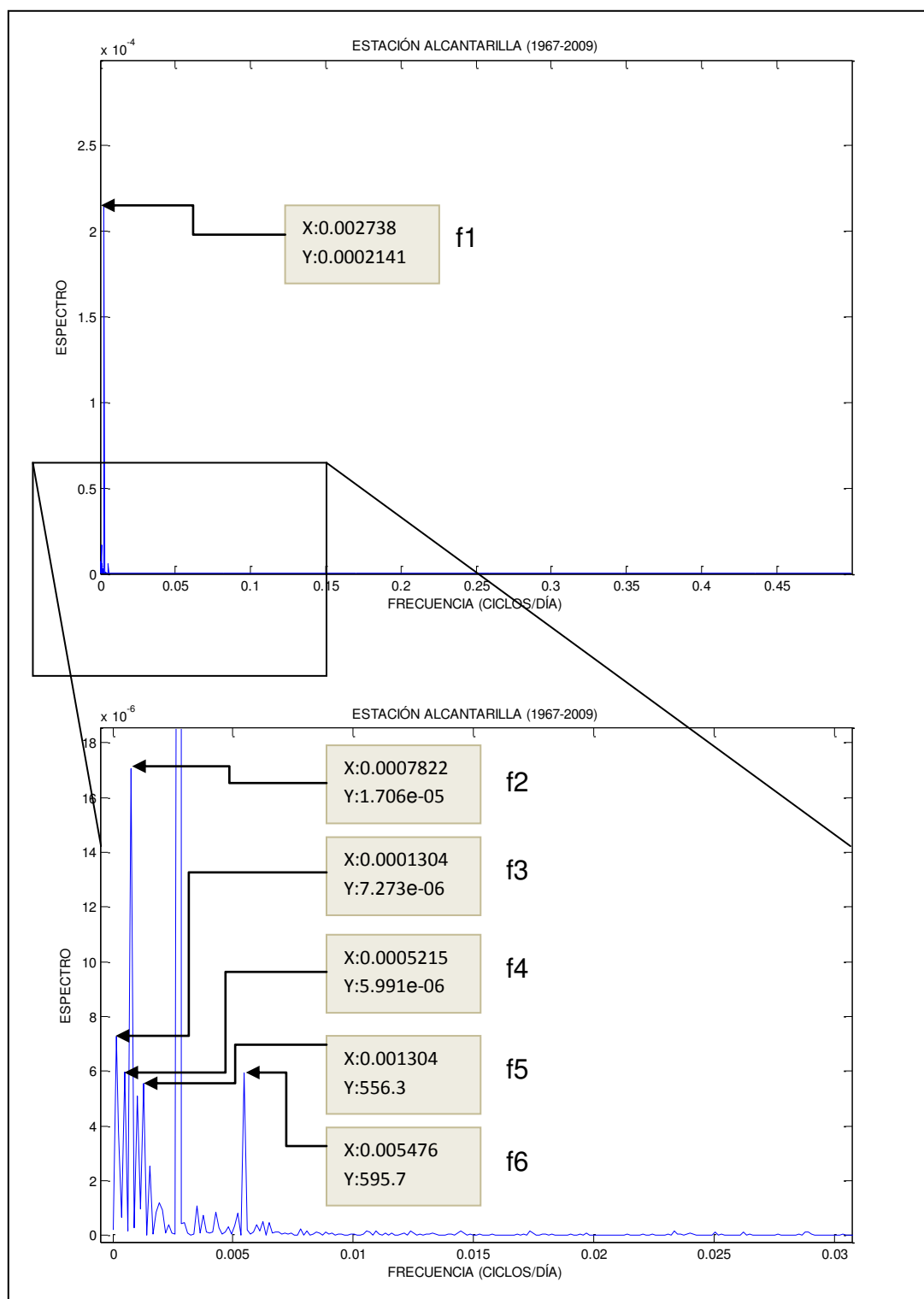


Figura 44. Espectro de potencia de los valores promedios diarios de la temperatura en la estación Alcantarilla para el periodo 1967 2009.

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la transformada de Fourier se obtienen distintas frecuencias (f_i), al calcular la inversa se obtiene el periodo ($T=1/f$), este valor indica la periodicidad del evento. En ese sentido se identifica 6 componentes, el primer valor representa la suma y corresponde al periodo anual, el segundo representa al fundamental y representa al periodo El Niño, el tercero se relaciona con las manchas solares; mientras que el sexto representa el comportamiento semianual (Cuadro 11). En este análisis la variación estacional no tiene relevancia.

Cuadro 11. Resultados de la aplicación de la transformada rápida de Fourier.

NÚMERO	COMPONENTES	FRECUENCIA (f_i)	PERIODO ($T_i=1/f_i$) (Días)	AÑOS	INTERPRETACIÓN
01	f1	0.002738	365.230	1	Ciclo anual
02	f2	0.0007822	1278.45	3.5	Evento El Niño
03	f3	0.0001304	7668.71	21	Manchas solares
04	f4	0.0005215	1917.54	5.2	Evento El Niño
05	f5	0.001304	766.8	2.1	Evento El Niño
06	f6	0.005476	182.6	0.5	Ciclo semianual

Fuente: elaboración propia.

4.12 Aspectos relevantes del clima en Caral

La capa de inversión térmica, como consecuencia de la subsidencia a gran escala (movimientos verticales descendentes), es inducida básicamente por las aguas costeras frías y por la divergencia casi superficial de los vientos Alisios sobre el océano y el litoral; esta capa presenta fluctuaciones en intensidad y altitud tanto diarias, mensuales e interanuales. En verano, por lo general, es menos intensa y está más cerca a la superficie, por lo cual, la capa nubosa estratiforme presente debajo de la base de inversión se disipa rápidamente en las primeras horas del día; en el invierno, la base de la capa de inversión se ubica por lo general a mayor altitud y la inversión es más intensa, por lo que la capa nubosa estratiforme es más gruesa tomando mucho más tiempo en disiparse, lo cual ocurre generalmente después del mediodía. En los meses de febrero y marzo, debido a las temperaturas superficiales del agua de mar y el debilitamiento de los vientos Alisios, la capa de inversión térmica es débil y ocasionalmente desaparece, situación meteorológica favorable para la ocurrencia de lloviznas; esta condición meteorológica descrita se hace más

frecuente en los meses de verano y particularmente se intensifica en periodos El Niño. La ausencia de lluvias a lo largo de la costa (clima árido con zonas de vida dd y ds) resulta de la estrecha capa de aire caliente, muy seca y menos densa que la capa de aire fría, húmeda y más densa ubicada desde la base de la capa de la inversión hasta la superficie del océano o desierto.

El comportamiento océano-atmósfera a nivel diario en la zona costera de Caral se representa en la Figura 45. Para una mejor visualización se indica líneas de color azul y rojo que representan una superficie caliente y una superficie fría, respectivamente. La zona fría en el océano es debido al sistema de afloramiento costero, mientras que la zona cálida se encuentra relacionada con la cercanía a la línea ecuatorial y su distribución de energía calórica. A esta latitud desde la superficie de la tierra hasta un punto en la atmósfera, se identifica la Capa de inversión (CI) y el grosor de ésta va depender directamente a la convergencia del JET; es decir, va existir un menor ensanchamiento y por ende una menor intensidad de la CI en superficies cálidas debido al ascenso de aire y una aumento de la CI; estos ascensos y ocurren por efecto de la gravedad dependiendo de la densidad, es decir al tipo de superficie con la cual está en interacción.

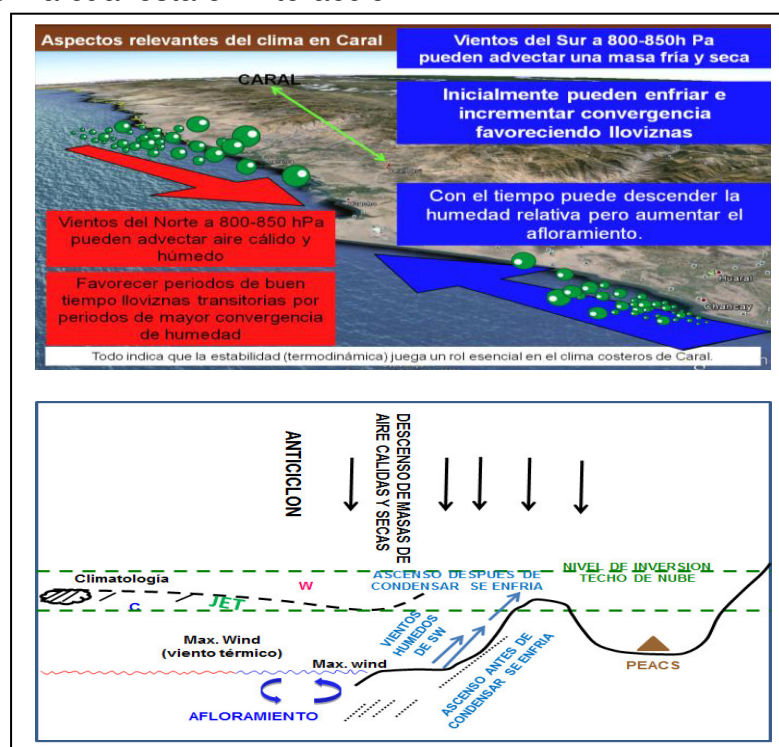


Figura 45. Interacción Océano - Atmósfera y circulación local: JET de bajo nivel y brisas marinas – terrestre.

Los principales factores climáticos que dominan el área de estudio son: Monzón Amazónico, Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), La Corriente de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico Sur y la posición del área de estudio respecto a la circulación general de los vientos; de este modo el clima del área de la zona Caral presenta características particulares.

Uno de los factores dominantes en la costa central del Perú es la dominancia de los vientos alisios, que desplazan las corrientes frías (Corriente de Humboldt) hacia la costa de Barranca, en ellas dominan los vientos paralelos a la costa, que ponen en movimiento la cálida y poco profunda capa superficial del océano. Para compensar esto, el agua fría sube de las partes más someras generando una capa de mezcla, cuyo comportamiento responde a un ciclo estacional al igual que la temperatura superficial del mar. A causa de ello, el aire se enfría en bajos niveles y se origina una marcada circulación de aire casi permanente durante todo el día entre el mar y la tierra y se genera un proceso de circulación tierra adentro, con un recorrido de más de 25Km (Figura 46). Esta circulación marina al desplazarse hacia el continente choca con las llamadas lomadas costeras y ocasiona una lluvia muy fina, sobre todo durante los meses de invierno. Del mismo modo otro factor importante es el Anticiclón del Pacífico Sur mencionado en capítulos anteriores.

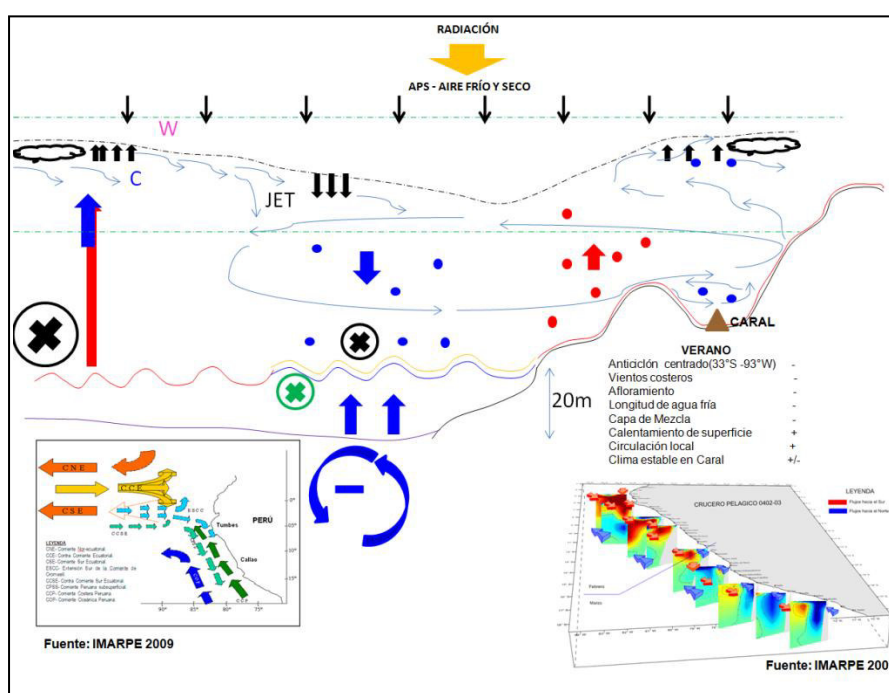


Figura 46. Descripción de la interacción Océano/Atmosfera para el centro arqueológico Caral/Supe para la temporada de periodo cálido.

Existe la relación de interacción entre una zona regional y una zona local en el mismo orden, mediante la presencia de aire frío y seco como representación de un patrón de circulación identificada en este trabajo de tesis. Este patrón conocido como Anticiclón del pacifico Sur; al llegar a la zona de la costa central tiene una particularidad, de traer aire frío y seco (Figura 33). Éstos a la vez al descender a superficie se calientan al interactuar con los suelos de las llamadas Lomas que pertenecen a una zona de vida del tipo dd-S y la respuesta en términos de capacidad calorífica son altas en comparación a una del tipo agua de mar, donde se identifica un gradiente de temperatura costero.

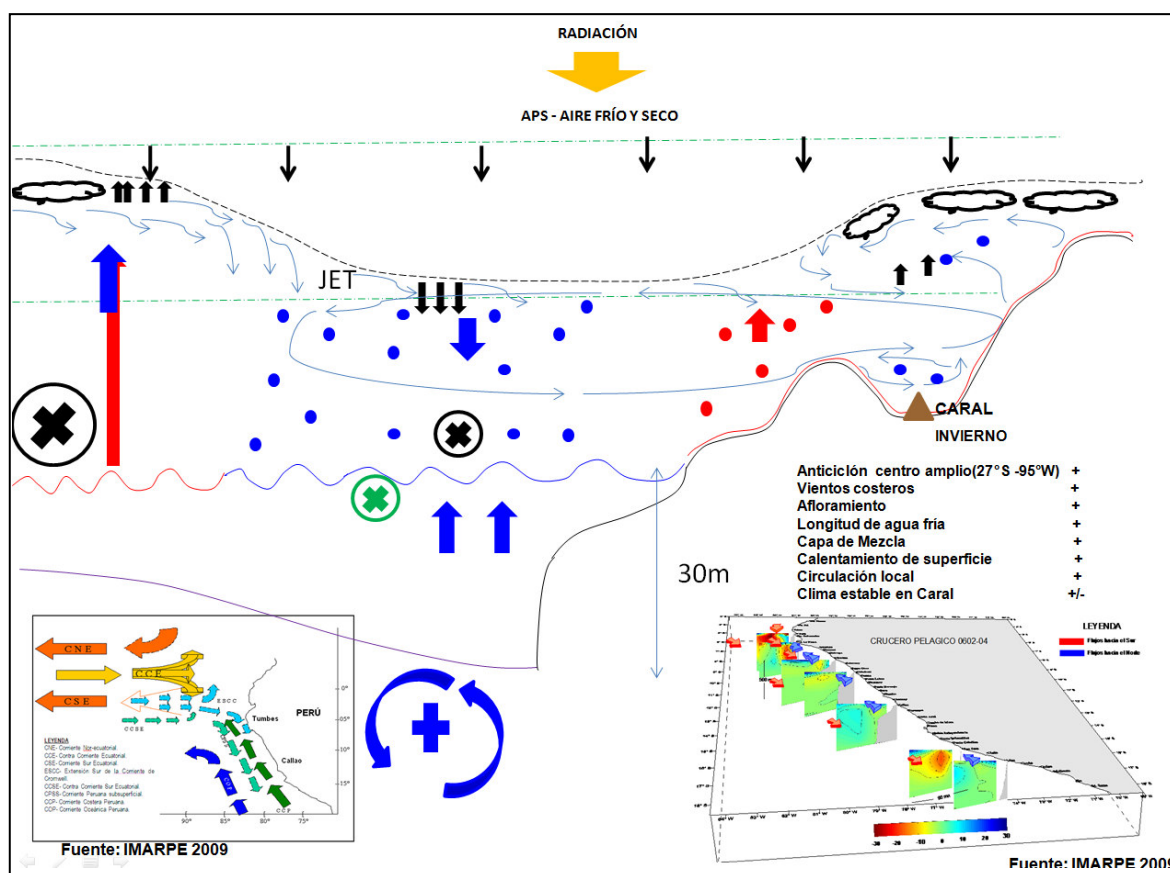


Figura 47. Descripción de la interacción Océano/Atmosfera para el centro arqueológico Caral/Supe para la temporada de periodo frío.

Este gradiente térmico responsable de mantener un clima estable a nivel diario. Para el caso de verano y el invierno podemos notar que hay una marcada incidencia en los parámetros meteorológicos como la temperatura máxima y mínima. Para este primero guarda mucha relación con la presencia del evento niño mientras la segunda responde a un proceso meteorológico local donde su variabilidad está sujeta a la interacción entre el océano y la

atmosfera, el cual lo hace más característico ante las otras aéreas de la zona costera.

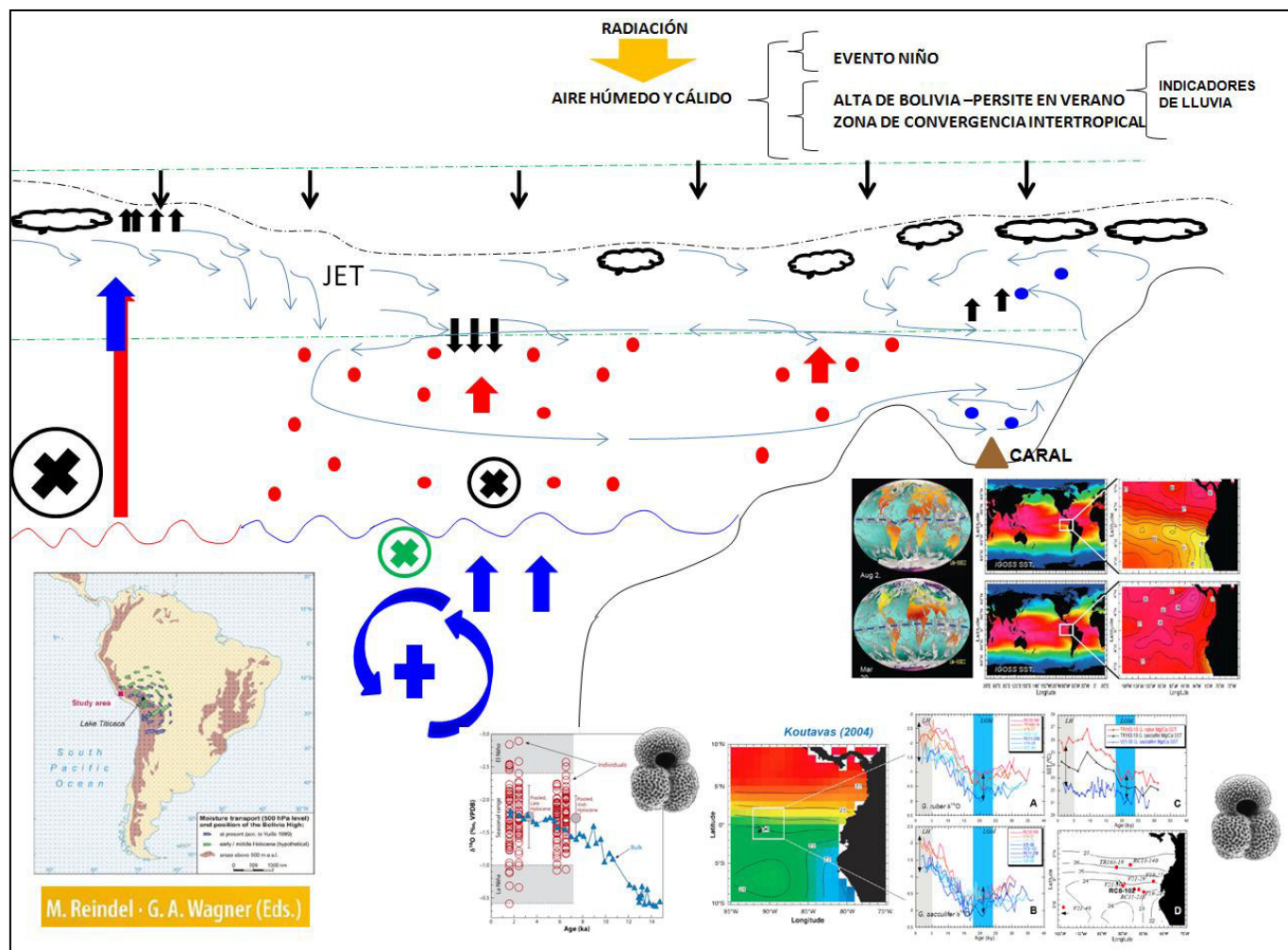


Figura 48. Descripción Esquemática a un cambio en los factores climáticos y la interacción Océano/Atmosfera para el periodo Holoceno en el Centro Arqueológico Caral/Supe.

Si nos remontamos al periodo holoceno, encontraremos una gran relación de patrones de circulación en la generación de aire húmedo y cálido. Los responsables de este tipo de clima son la alta de Bolivia, la zona de convergencia Intertropical y los eventos niños. Koutavas (2004), describe el desplazamiento de la ITCZ hacia el Sur, realizando una investigación en base a testas de foraminífero en la zona ecuatorial y el desplazamiento más a la norte de la alta de Bolivia según M. Reindel (2009), cuya consecuencia es la generación de un clima muy húmedo en la zona de costa Norte.

CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los principales factores climáticos que afectan en Caral son el Monzón Amazónico, la alta de Bolivia, eventos El Niño, Anticiclón del Pacífico Sur y la posición del área de estudio respecto a la circulación general de los vientos. Estos influyen en la variabilidad del clima mediante el descenso del aire frío, seco, húmedo y cálido.
- En verano se tiene un mayor rango de variación de la humedad, disminuyendo en invierno. Los valores máximos ocurren en los meses de invierno, normalmente a causa de la intensificación del anticiclón subtropical del Pacífico Sur y la convergencia del JET costero generando cielos totalmente nubosos.
- La precipitación mostraron un comportamiento bianual; para periodos de verano tiene influencia del evento Niño y la segunda por efecto de la estacionalidad. El primero refiere a la vulnerable de Caral mediante posibles aumentos en el caudal del río Supe.
- Se identificaron calentamientos con variabilidad del tipo anual, semianual y cuasi bienal (periodos del Evento El Niño), este último siendo el modo dominante de variabilidad interanual en la costa central. No se identifica la variabilidad estacional por lo que no son relevantes en términos de calentamiento.
- La estación meteorológica de Caral, debido a su ubicación espacial en el valle de Supe, muestra que los vientos del norte y del sur confluyen aquí permitiendo el ingreso de aire cálido/húmedo y aire frío/seco respectivamente, donde el primero favorece a la generación de lloviznas y el segundo al incremento del afloramiento costero.
- Para la identificación de los periodos cálidos y fríos se usa en primera aproximación el método de anomalías estandarizadas. En la provincia de Barranca se registran periodos cálidos y fríos, el primero se relaciona con una contribución del 90% de la región El Niño 1+2, mientras que el

segundo debido a condiciones zonales que responden a patrones de circulación que contribuyen con aire frío y seco, principalmente en invierno.

- Las temperaturas presentan en general alta variabilidad anual y multianual. En las temperaturas mínimas, se evidencia una mayor ocurrencia de alternancia de periodos más cálidos y fríos relativos. En las temperaturas máximas, las alternancias fueron más variables y por lo general de menor periodo de duración.
- La temperatura máxima en Caral, a escala interanual y decadal, está fuertemente asociada a los índices océano-atmosféricos en el Pacífico ecuatorial durante todos los meses del año, tal como se identifica la alta correlación en la estación de Alcantarilla, Camay, Santa Rosa y Paramonga. Esta relación indica que en primera aproximación podría haber tenido mayor influencia durante los periodos cálidos a mediados del holoceno.
- Las temperaturas máximas durante el verano disminuyen a medida que se acercan al mar, un comportamiento contrario ocurre durante los meses de invierno donde la temperatura aumenta a medida que se acerca al mar.
- Un análisis climatológico de los vientos nos indica que existe patrones de circulación que persisten durante todo el año y a lo largo del valle de Supe confluyen viento del norte y vientos del sur; el primero se identifica por contribuir aire húmedo y cálido mientras que el segundo contribuye aire frío y seco. Esta característica permite que Caral presenta un régimen térmico muy similar a un clima subtropical donde presenta un verano fresco y largo, con temperaturas mínimas medias que no bajan de los 17°C y oscilaciones medias entre los 19,7 y 17,9 °C; mientras que las máximas para esta estación fluctúan entre los 24,0 y 26,6 °C.
- Se identifica magnitudes fuertes de viento durante todo el año sin distinguir cambios de estación y mediante el análisis de datos se pudo observar que este comportamiento es debido a un proceso de

retroalimentación; es decir en verano ocurre por el incremento de diferencia de temperatura entre mar y tierra y en invierno por el acercamiento del anticiclón del pacífico sur.

- En el litoral correspondiente a la costa de Caral, discurren 3 ríos de caudal variable por estación, que durante eventos extremos otros cauces fluviales de menor longitud se activan, incrementando la vulnerabilidad de Caral y Supe como en épocas no muy antiguas, cuando las condiciones climáticas fueron más húmedas y llegaron generar aluviones de consideración.

5.2 Recomendaciones

- Las estaciones más importantes en la parte norcentral correspondiente al área del Valle de Supe, son la estación de Alcantarilla y Paramonga la cual tiene una buena densidad de datos y para mantenerlo actualizado, se debe tener operativa un proceso de control de calidad mas continuo.
- Para tener una mejor descripción del clima local y toda la columna de aire en Caral se recomienda hacer un trabajo de radiosondas.
- Visto la problemática ligada a la confiabilidad de los datos meteorológicos, en especial a la de precipitación que presentó mayores errores en su registro, se recomienda seguir una revisión constante (quincenal) para disminuir este error y tener una mejor descripción en cuanto a esta variable meteorológica; así mismo para las otras variables.
- Los estudios de paleoclima basado en el aspecto meteorología de Caral tendrían que estar ligado directamente con el análisis del sedimento, teniendo acceso a estos y su posible uso como herramienta de descripción en la circulación atmosférica.

Referencias

- Albrecht, J., (1981). Twenty year average atmospheric structure at Lima, Perú, State University, Departament of Meteorology Tallahassee, Florida.
- Cárdenas, J., (2001). Predicción de las precipitaciones sobre la cuenca Chancay-Huaral. Universidad Nacional Agraria la Molina - Instituto Geofísico del Perú. V.2 (2001) pp. 31-39
- Carlotto, V., Shady, R., Manosalva, D., Velarde, T. y Pari, W. (2011). Geología de la Ciudad Sagrada de Caral, INGEMMET, Boletín, Serie I: pp. 5, 81.
- Dudley, B., Chelton, C., (2010). Ocean-Atmosphere Interaction at Oceanic Mesoscales, *Oceanography* 52–69, College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University.
- ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos “El Niño” y “La Niña” y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.
- Garreaud, R. D.; Rutllant, J. A., e Fuenzalida, H., (2002). Coastal lows along the subtropical west coast of south: Mean structure and evolution. *Monthly Weather Review*, pp. 75–88.
- Garreaud, R. D. e Aceituno, P., 2007: The Physical Geography of South America, chapter 3. Oxford University Press.
- Garreaud, R., Vuille, Clement, A., (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Paleogeography, paleoclimatology*, pp. 194, 5-22.
- Gilford, M., (1993). South America South of the Amazon River a Climatological Study, pp. 2–50, 4-77 *Soc.*, 93, 5, 631-351.
- Goodwin, J., (1979). Study of the superface winds off coast of Peru, Florida State University, Departament of Meteorology Tallahassee, Florida.
- Goodman, M., (1980). An observational study of a land-sea breeze circulation on the coast of Peru, Departament of Meteorology Tallahassee, Florida.
- IMARPE, 2009. Boletín semanal de la temperatura superficial del agua de mar en el litoral peruano.

- IGP, 2014-04. Informe Técnico,"Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño.
- Junquas, C., Takahashi, K., Condom, T., (2013). Influencia de la orografía sobre las precipitaciones en los andes tropicales.
- Koutavas, A., (2004). El Niño–Southern Oscillation (ENSO) attenuation revealed by individual foraminifera in eastern tropical Pacific sediments. Department of Engineering Science and Physics, College of Staten Island, The City University of New York.
- Lagos, P., Silva Y., Nickl, E., Mosquera, K., (2008). El Niño-related precipitation variability in Peru. *Advances in Geosciences*. Adv. Geosci, 14, 231–237.
- Moron, O., Bolt. IMARPE, (2000). Características del ambiente marino frente a la costa peruana.
- Machare, J., Ortlieb, L., (1993). Registro del fenómeno del Niño en el Perú, pp. 35-52.
- Ministerio de Agricultura, (2000). Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos Intenciones de Siembra Campaña Agrícola Agosto 2012 - Julio 2013.
- Nieto, J., Martínez, R., Regalado, J., Hernández, F., (2012). Análisis de tendencias de series de tiempo oceanográfico y meteorológicas para determinar evidencias de Cambio Climático en la costa del Ecuador, *Acta Oceanográfica del Pacífico*. vol. 11. N°-1.
- Ortlieb, L., Machare, J., (1989). Evolución Climática al final del Cuaternario en las regiones costeras del norte peruano, pp. 143-160.
- Reindel, M., Gunther, A., (2009). *New Technologies for Archaeology, Multidisciplinary Investigations in Palpa and Nasca*, Perú.
- SIGMINAM, (2000). Sistema de Información Geográfico del Ministerio del Ambiente, INEI-2007, INRENA-2000.
- Seluchi, M., Marengo, (2000). Exchange of air masses during summer and winter in South America. Climatic aspects and extreme events. *International journal of climatology*, vol.20, pp. 1167-1190.

- Takahashi, K., (2009). Downscaling estadístico de la precipitación en la cuenca del Mantaro Parte I: Variabilidad climática interanual. Department of Atmospheric Sciences University of Washington.
- Wilks, D. (1995). Statistic Methods in the Atmospheric Sciences, volume 59. Academic Press-International Geophysics Series, San Diego-California.
- Wallace, J., Hobbs, (2006). An Introductory survey. Kuwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Zuta, S., Guillen, O., (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol. Inst. Mar. Perú-Callao, Vol. 2, N°5, pp.157-324, Junio 1970.

Referencias Electrónicas.

- caracterización general de la provincia de barranca
<http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/>
- Diagrama climático de zonas de vida, Ministerio del ambiente 2009:
<http://sinia.minam.gob.pe/>
- National and Oceanic Atmospheric Administration (NOAA), National Center Environment Prediction (NCEP) and National Center for Atmospheric Research (NCAR), 1948. NCEP/NCAR Reanalysis Project. 225 Broadway, Boulder: Physical Sciences Division: Data Management.
(<http://www.esrl.noaa.gov/>)
- Sistema de inventario de efectos de desastres-DESINVENTAR,
<http://online.desinventar.org/>

Lista de siglas

AB	Alta de Bolivia
APS	Anticiclón del Pacífico Sur
ENOS	El Niño Oscilación Sur
IGP	Instituto Geofísico del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
NCEP	National Center for Environmental Prediction
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PDO	Pacific Decadal Oscillation
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
UNMSM	Universidad Nacional Mayor de San Marcos
TSM	Temperatura Superficial del Mar
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical
NIÑO1+2	Zona Niño 1+2
NIÑO3	Zona Niño 3
NIÑO3+4	Zona Niño 3+4
NIÑO4	Zona Niño 4
NAO	Oscilación del Atlántico Norte
SOI	Índice Oscilación Sur
TNA	Índice Tropical del Atlántico Norte
TSA	Índice Tropical del Atlántico Sur
TSA-TNA	Índice Tropical del Atlántico Norte- Índice Tropical del Atlántico Sur

ANEXOS

ANEXO A: Lista de Los Índices Climáticos básicos de ETCCDMI

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
FD0	Días de heladas	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)<0°C	Días
SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días
ID0	(Días de hielo	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)<0°C	Días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días
GSL	Duración de la estación de cultivo	Anual (1st Ene a 31 st Dic en HN, 1 st Julio a 30 th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10 p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10 p	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90 p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días
TX90 p	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	indicador de la duración de periodos fríos	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th	Días

		percentil	
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	Mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Número de días sobre nn mm	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	Mm
R99p	Días extremadamente secos	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm

A.1 Cálculo de Índices

RClimindex es capaz de calcular varios índices básicos enumerados en el Anexo A. Sin embargo, los usuarios pueden calcular solo aquellos índices que requieran mediante un procedimiento de selección.

Después de seleccionar “Índices Calculation” del menú principal, se pide al usuario que establezca algunos parámetros para el cálculo de los índices. La ventana “Set Parameter Values” permite al usuario introducir el primer y último año del periodo base para el cálculo de los umbrales, la latitud de la estación (Hemisferio Sur es negativa) para determinar en qué hemisferio está localizada la estación, un umbral de precipitación diaria definido por el usuario, P (en mm), para calcular el número de días en la precipitación diaria excede este umbral (el indicador Rnn), y 4 umbrales definidos por el usuario. El “User defined Upper Limit of Day High” permite el cálculo del número de días cuando la temperatura máxima diaria ha excedido este umbral. El “User defined Lower Limit of Day High” permite el cálculo del número de días cuando la temperatura máxima diaria está debajo de este valor. El “UserdefinedUpperLimit of Day Low” permite el cálculo del número de días cuando la temperatura mínima diaria ha excedido este umbral. El “User defined Lower Limit of Day Low” permite el cálculo del número de días cuando la temperatura mínima diaria esta debajo de este límite. Estos índices son llamados SUMm, FDmm, TRmm, IDmm donde “mm” corresponde a valores definidos por el usuario. Este paso incluye cierto procesamiento de datos, por lo que tomará algunos segundos para terminar.

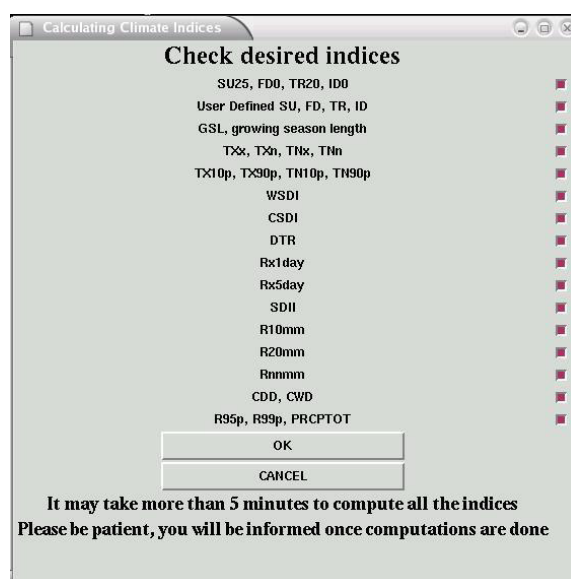
The screenshot shows a window titled "Set Parameter Values" with a subtitle "User defined parameters for Indices Calculation". It contains several input fields for user-defined parameters:

First year of base period	1961
Last year of base period	1990
Latitude of this station location	0
Longitude of this station location	0
User defined upper threshold of daily maximum temperature	25
User defined lower threshold of daily maximum temperature	0
User defined upper threshold of daily minimum temperature	20
User defined lower threshold of daily minimum temperature	0
User defined daily precipitation threshold	25

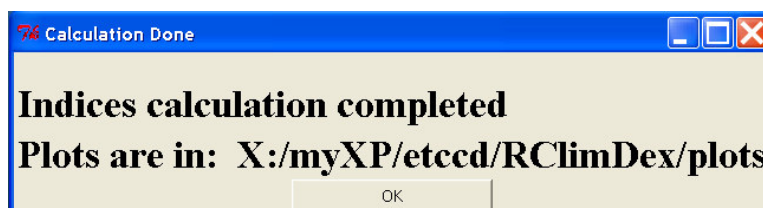
At the bottom of the window are two buttons: "OK" and "CANCEL".

Una vez que este paso ha sido completado, una ventana aparecerá para permitir al usuario seleccionar los índices que desea calcular. Todos los índices son seleccionados por default.

Quite la marca de los índices que no se necesiten, luego haga clic en “OK” para realizar el cálculo. Dependiendo de los índices seleccionados, este procedimiento puede tomar un momento. Para nuestro caso los índices importantes son TXx y TNn, que corresponden a la temperatura máxima y mínima respectivamente.



Una ventana aparecerá una vez que los índices seleccionados han sido calculados.

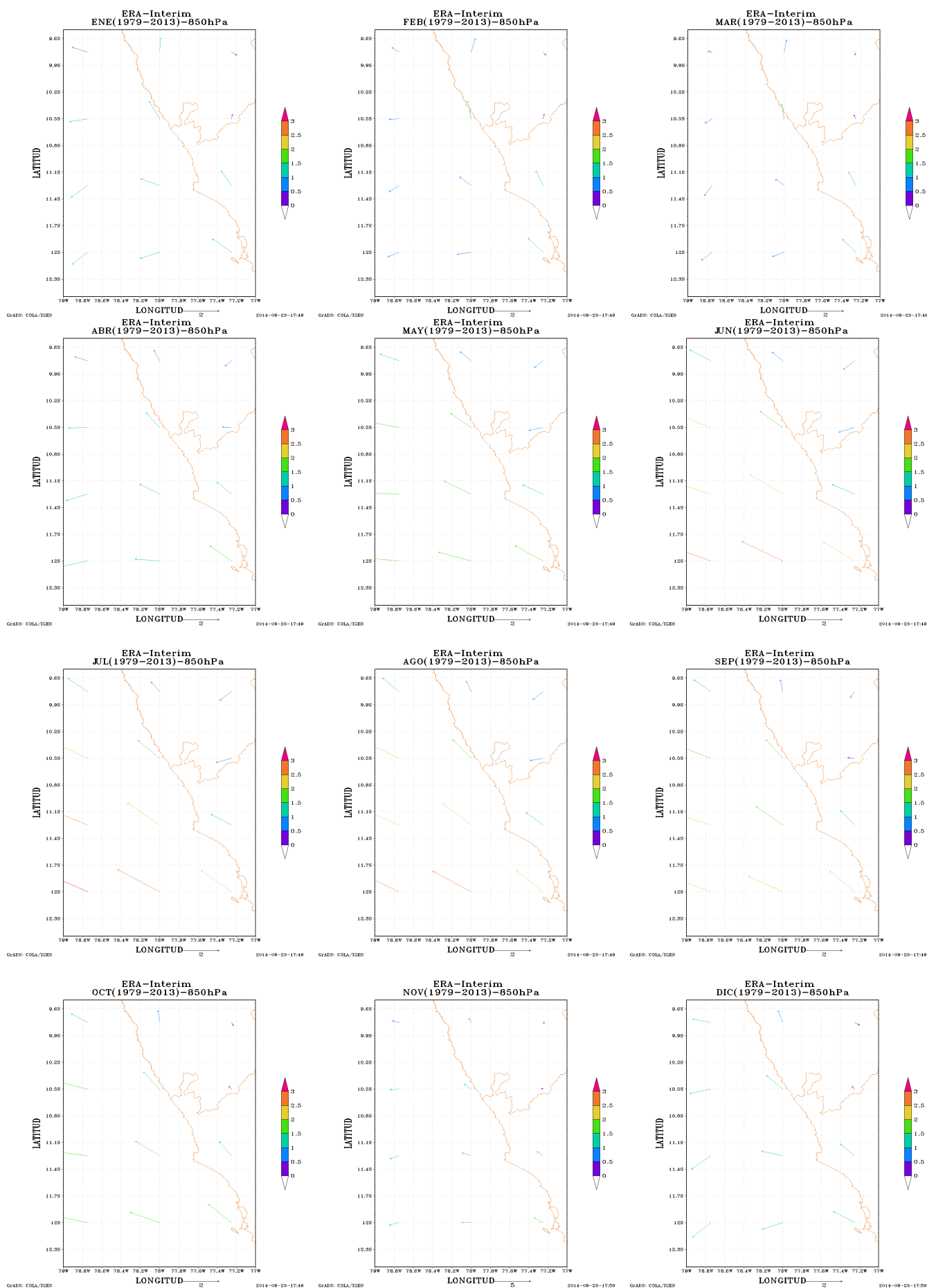


La serie de índices resultantes son almacenados en un subdirectorío titulado *índices* en formato Excel. Los archivos de índices tienen nombres “21946_XXX.cvs” donde XXX representa el nombre del índice. Columnas de datos se separan por coma (“,”). Para propósitos de visualización, graficamos series anuales, junto con tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada). Estadísticas del ajuste de curvas lineal se muestran en los gráficos.

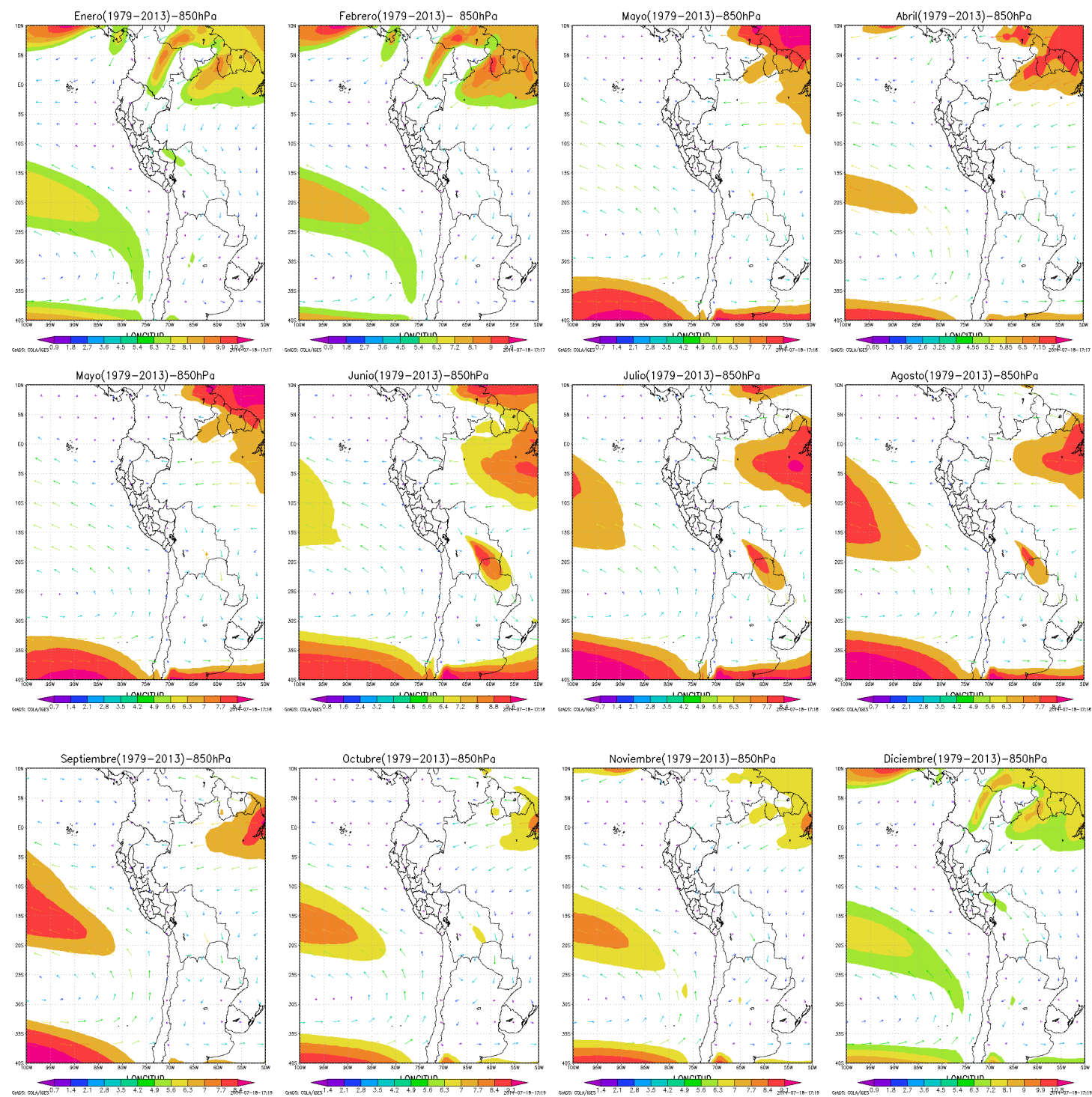
Estos gráficos se guardan en un subdirectorio llamado *plots* en formato JPEG. Los nombres de archivos de los gráficos siguen la misma regla excepto que “cvs” se cambia a “jpg”.

Seleccione “Índices Calculation” del menú principal para calcular índices adicionales, seleccione “Data QC” y repita el proceso mencionado arriba. Seleccione “Exit” si todos los cálculos requeridos han sido completados

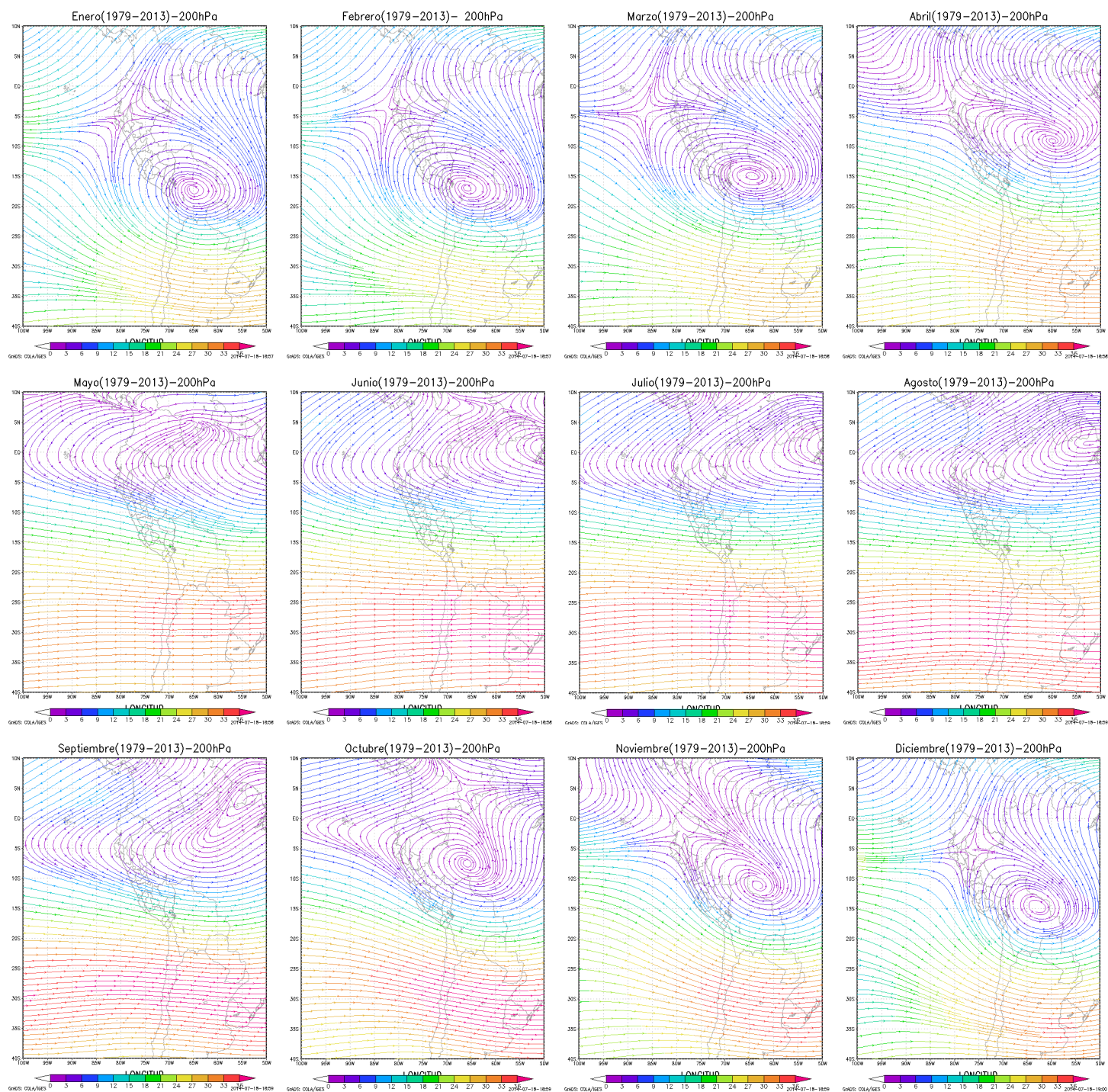
ANEXO B: Climatología del viento costero en la costa central del Perú (1979-2013).



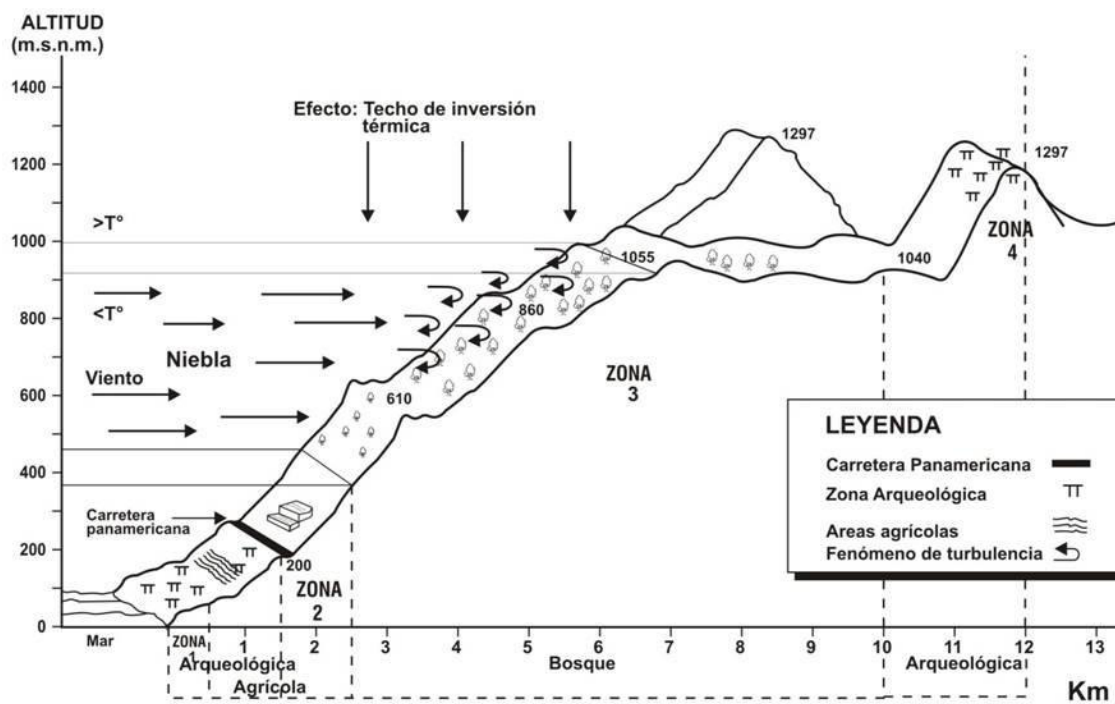
ANEXO C: Climatología del Anticiclón del Pacífico Sur a nivel Sudamérica (1979-2013).



ANEXO D: Climatología del alta de Bolivia a nivel Sudamérica (1979-2013).



ANEXO E: Influencia de la niebla sobre la costa central del Perú.



ANEXO F

DIAGRAMA BIOCLIMATICO DE ZONAS DE VIDA DEL SISTEMA HOLDRIDGE

ADAPTADO E INTERPRETADO A LA GEOGRAFIA DEL PERU por : Ing. Carlos J. Zamora J.

(2009)

Superficie Territorial : 1 285 215,60 Km²

Componentes Principales

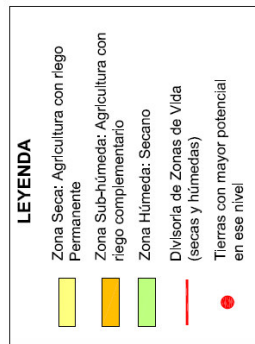
- Agricultura con riego.
- Pasturas temporales (lomas del litoral-sabana de la costa septentrional).
- Bosques de Trópico Seco.
- Valles mesoandinos esteparios occidentales.

30% del Territorio Nacional
(ámbito seco)

Componentes Principales

- Agricultura de Secano (Hasta 4000 msnm).
- Valles mesoandinos y altiplanicies húmedos.
- Pasturas Naturales Permanentes (> 3600 -< 4600 msnm).
- Bosques Heterogéneos de Trópico húmedo (100 -< 3300 msnm).

70% del Territorio Nacional
(ámbito húmedo)



REGIONES LATITUDINALES Hemisferio Norte y Sur

POLAR
(90°N - 90°S)

SUBPOLAR
(60°N - 60°S)

BORCAL
(30°N - 30°S)

TEMPERADA FRÍA
(20°N - 20°S)

TEMPERADA CALDA
(40°N - 40°S)

SUBTROPICAL
(20°N - 20°S)

TROPICAL
(10°N - 10°S)

PISOS ALTITUDINALES Correlacionados con las R. Latitudinales

INIVAL
1,3°

TUNDRA
(alpino)

PÁRAMO
(subandino)

MONTAÑO SUPERIOR
8°

MONTAÑO INFERIOR
12°

MONTAÑO BAJO
17°

PREMONTAÑO
24°

TROPICAL
BASE

CARACTERÍSTICAS GENERALES SIGNIFICATIVAS

Regulador hidrológico de ríos y lagunas. Representa el centro de los ecosistemas continentales del Perú con su montañas más altas, el Huascaran (7314 m) y el Titicaca (3611 m). Reune numerosos volcanes que superan los 5000 msnm.

Actividad minera. Final de la cobertura vegetal de pasturas y final de la actividad pecuaria lanar (camélidos sudamericanos y ovinos).

Actividad minera. Centro de los pastizales albañinos permanentes (gramíneas principalmente) y centro de la ganadería lanar nacional. No hay agricultura y si la hay es muy limitada (maíz). Extenso escurrimiento de lagos y lagunas.

Pastizales del sub-páramo. Centro de agricultura de secano mesoandina: papa y tuberosas menores, quinua, quíwicha, maíz (final de c. maíz: 3700 msnm). Otros cultivos (cebada, trigo), leguminosas (haba). No hay frutales. Actividad minera. Centro de la población serrana. Final del sistema de Andenes.

Actividad minera. Maíz, tuberosas y cereales de grano chico, linde de frutales de hueso (duraznos, etc.).

Actividad minera. Cuadro amplio de cultivos tropicales (papa, camu camu, cítricos, café, cacao, cocona, café), riqueza forestal. Biodiversidad.

Actividad minera e hidrocarburos. Cuadro muy amplio de cultivos. Máxima riqueza forestal, de palmas hidrofíticas y expresión de la biodiversidad. Mayor concentración de la población costera y del país. El ámbito seco comprende los valles costeros irrigados de mayor desarrollo y producción de país.

REGIONES ECOLOGICA (Sistema C. Zamora)

-Nival

-Tundra Andina

-Puna o Páramo Alto

-Estepa

-Estepa

-Estepa / Estepa Húmeda

-Matorral Desértico

-Matorral Desértico

-Bosque Seco

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

-Bosque Húmedo Tropical

Nota:

- 1) El Perú compromete a tres franjas latitudinales: **Tropical; Subtropical; y, Templado-cálido.**
- 2) Verticalmente, debido a la altitud de la Cordillera de los Andes, presenta siete (07) pisos ecológicos. El piso **Montano** ha sido subdividido por el suscrito en **Montano superior** y **Montano Inferior** debido a rasgos propios específicos.
- 3) **Páramo:** conforma una formación flogogeográfica específica de los Andes extremo septentrionales del Perú y que se extiende desde Venezuela, Colombia y Ecuador. La Puna deberá relegarse para los Andes Centrales y Meridionales del Perú, extendiéndose a Bolivia y el norte andino de Chile.
- 4) **Tundra Andina:** Denominada por su cierta similitud con la Región Tundra del Hemisferio Norte, pero, careciendo de permafrost (suelo congelado todo el tiempo), de inviernos largos umbrosos y de la marcada oblicuidad de los rayos solares.